



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tommi Saviluoto

Välipohjakorjausten akustiikka

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK)

Korjausrakentaminen

Opinnäytetyö

31.5.2020

Tekijä Otsikko	Tommi Saviluoto Välipohjakorjausten akustiikka
Sivumäärä Aika	75 sivua + 2 liitettä 31.5.2020
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Korjausrakentaminen
Ohjaajat	DI Pekka Taina Yliopettaja Hannu Hakkarainen
<p>Opinnäytetyössä oli tavoitteena esittää vanhojen rakennusten välipohjarakenteiden tyypillisiä ilma- ja askelääneneristävyyksiä, vaihtoehtoisia korjaustapoja kullekin välipohjatyypille sekä millaisia lopputuloksia eri korjausvaihtoehdoilla saavutetaan. Tavoitteena oli myös esittää ääneneristysarvojen laskennassa käytettävä teoria, laskentamallit ja uudet määräykset sekä syventää omaa ja yrityksen osaamista.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin perehtymällä kirjallisuudessa esitettyyn teoriaan ja vanhoille rakenteille ilmoitettuihin ääneneristysarvoihin, laskenta- ja mittausstandardeihin, määräyksiin, ohjearvoihin, kaupallisiin ja yrityksen laskentamalleihin sekä yrityksen kenttämittaustuloksiin. Lisäksi työssä tarkasteltiin kahden esimerkkiprojektin ääneneristävyyksiä tarkemmin, ja mallinnettiin rakenteiden ääneneristävyydet alkuperäisillä sekä korjatuilla rakenteilla.</p> <p>Välipohjarakenteella saavutettava ääneneristys riippuu lukuisista asioista, mutta tärkeimpänä voidaan pitää massaa ja eri pintojen välisiä kytkentöjä. Rakennusten korjaamisessa on tärkeintä, ettei ääneneristys heikkene, ja että saavutetaan käyttötarkoituksen kannalta riittävän hyvät ääniolosuhteet.</p> <p>Välipohjakorjauksissa on käytettävissä lukuisia vaihtoehtoja. Rakennuksen nykyisten ja korjattujen välipohjien ääneneristystasoa voidaan tutkia kirjallisuuden, mallinnuksen ja kenttämittausten avulla. Kenttämittausten avulla saadaan parhaat lähtökohdat korjaussuunnittelua varten. Kun rakennuksesta on mitattu lähtötilanne ennen korjausta ja korjauksen jälkeen, voidaan määräyksen täyttyminen todentaa.</p>	
Avainsanat	Välipohjat, akustiikka, ääneneristys, korjausrakentaminen

Author Title	Tommi Saviluoto Acoustics of renovating slabs
Number of Pages Date	75 pages + 2 appendices 31 May 2020
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Master's Degree Programme in Civil Engineering
Professional Major	Building Renovation
Instructors	Pekka Taina, M.Sc (Tech) Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer
<p>In this graduate study, the main goal was to present typical values of airborne and impact sound insulation of the subfloor structures of old buildings, alternative repair methods for each type subfloor, and the outcomes of different solutions. The aim was also to present the theory used in the calculation of sound insulation values, calculation models and new regulations, as well as to deepen one's own and company's skills.</p> <p>The study was done by getting acquainted with the theory and sound insulation values presented in the literature, calculation and measurement standards, regulations, guidelines, commercially available software, company's calculation models and field measurement data. Also, the sound insulation of the two example projects was examined in more detail, and the sound insulation of the structures was modelled with the original and renovated buildings.</p> <p>The sound insulation achieved by the subfloor structure depends on several things, but the most important can be the mass of the structure and the connections between different surfaces. When renovating buildings, the most critical challenge is not weakening the sound insulation and that sufficiently good sound environment for the intended use is achieved.</p> <p>Numerous options are available for slab renovation. The sound insulation level of the existing and renovated subfloor structures of a building can be studied through literature, modelling and field measurements. Field measurements supply the best starting point for renovation planning. Once the first condition of the building has been measured, before and after the repair, the compliance with the regulations can be verified.</p>	
Keywords	Subfloor, Acoustics, Sound Insulation, Renovation

Alkulause

Tämä opinnäytetyö on tehty osana rakennusinsinöörin (Yamk) tutkintoa Metropolia ammattikorkeakoulussa. Työ tehtiin yhteistyössä Helimäki Akustikot Oy:n kanssa.

Haluan kiittää jokaista kollegaa kaikesta avusta ja jokaisesta laatujärjestelmään lisätystä mittaustuloksesta, mikä mahdollisti työn tekemisen. Suurimmat kiitokset ansaitsevat teknisistä neuvoista ja työn kasassa pitämisestä ohjaajina toimineet Pekka Taina ja Hannu Hakkarainen.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laskentaperusteet ja määräykset	3
2.1	Peruskäsitteet	3
2.2	Ilmaääneneristävyys	4
2.2.1	Mittaluvut R_w , R'_w ja $D_{nT,w}$	5
2.2.2	Yksinkertainen rakenne	7
2.2.3	Kaksinkertainen rakenne	8
2.2.4	Monikerrosrakenne	11
2.2.5	Tiiveys	11
2.3	Askeläänitaso	12
2.3.1	Mittaluvut $L_{n,w}$, $L'_{n,w}$, $L'_{nT,w} + C_{i,50-2500}$ ja ΔL_w	13
2.3.2	Yksinkertaiset betonirakenteet	14
2.3.3	Joustavat pintamateriaalit	16
2.3.4	Kelluvat lattiat	17
2.3.5	Asennuslattiat	19
2.3.6	Ääntä eristävät alakatot	20
2.3.7	Tiiveys	24
2.4	Sivutiesiirtymä	24
2.4.1	Laskenta	26
2.4.2	Rakenteellisen sivutiesiirtymän vähentäminen	27
2.5	Huoneakustiikka	29
2.5.1	Jälkikaiunta-aika	29
2.5.2	Puheensiirtoindeksi	31
2.6	Ääneneristysten määräykset ja ohjeet	32
2.6.1	Ympäristöministeriön asetus 796/2017	32
2.6.2	Asumisterveysasetus 545/2015	33
2.6.3	Vanhat määräykset	34
2.6.4	Ohjearvot, suositukset ja luokitusjärjestelmät	35
2.7	Ääneneristysmittaukset	36
3	Korjausperiaatteet	37
3.1	Tavoitteet	37

3.2	Ilmaääneneristävyys	38
3.3	Askeläänitaso	40
3.4	Huoneakustiikka	42
3.5	Akustiikan lisäksi huomioitavat asiat	44
3.5.1	Kantavuus	45
3.5.2	Lämpö- ja kosteustekniikka	45
3.5.3	Palotekniikka	46
3.5.4	Korko ja suojelu	46
3.5.5	Muuntojoustavuus	47
3.5.6	Toteutus	47
4	Vanhojen välipohjarakenteiden ääneneristys	48
4.1	Yleistä	48
4.2	Kirjallisuuslähteet	49
4.2.1	Ylälaattapalkisto	49
4.2.2	TT-laatta	52
4.2.3	Ripalaatta	54
4.2.4	Kupulaatta	54
4.2.5	Alalaattapalkisto	56
4.2.6	Massiivibetonilaatat	58
4.2.7	Puuvälipohjat	61
4.2.8	Teräsrunkoiset välipohjat	63
4.3	Case 1: Ylälaattapalkiston korjaus	63
4.3.1	Lähtötilanne	63
4.3.2	Korjausvaihtoehdot	64
4.3.3	Korjattu tilanne	65
4.4	Case 2: Alalaattapalkiston korjaus	67
4.4.1	Lähtötilanne	67
4.4.2	Rakenteen korjausvaihtoehdot	68
5	Pohdinta	69
	Lähteet	72
	Liitteet	
	Liite 1. Ylälaattapalkiston mittaustulokset	
	Liite 2. Alalaattapalkiston mittaustulokset	

Lyhenteet ja merkinnät

R_w	rakennusosan laboratoriossa mitattu tai laskennallisesti määritetty ilmaääneneristysluku
R'_w	rakennuksen tilojen välillä mitattu ilmaääneneristysluku.
$D_{nT,w}$	rakennuksessa tilojen välillä mitattu äänitasoeroluku
$L'_{nT,w}$	rakennuksessa tilojen välillä mitattu askeläänitasoluku
$L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$	rakennuksessa tilojen välillä mitattu askeläänitasoluku, jossa on mukana spektripainotustermi
$C_{l,50-2500}$	spektripainotustermi askeläänitasoluvun mittaluvun taajuusalueen laajentamiselle 50–80 Hz taajuuksille, ts. taajuusalueena käytetään 50...2500 Hz eikä 100...3150 Hz
ΔL_w	lattianpäällysteen askelääneneristävyysparannusluku
$L_{A,eq,T}$	keskiäänitaso, joka tarkoittaa äänitasoa, jonka tehollisarvo on yhtä suuri kuin vaihtelevan äänitason tehollisarvo mittausajanjakson kuluessa
$L_{A,F,max}$	enimmäisäänitaso eli A-painotettu ja fast-aikapainotettu suurin hetkellinen äänitaso, joka mitataan tutkittavaan meluun nähden riittävän ajanjakson kuluessa
T	jälkikaiunta-aika eli aika, jonka kuluessa äänenpainetaso laskee 60 dB, kun äänilähde äkillisesti lopettaa toimintansa

1 Johdanto

Rakennusten suunnittelu, akustiikka ja korjausrakentaminen ovat olleet itseäni kiinnostava yhdistelmä jo muutaman vuoden ajan. Hyviä akustisia olosuhteita, kuten riittävää ääneneristystä, talotekniikan meluttomuutta tai vaikkapa vakaita tärinättömiä lattioita osaa arvostaa etenkin silloin, kun huonoista ratkaisuksista on joutunut kärsimään esimerkiksi naapuriasunnosta alati kuuluvan hälinän, työpaikalla ilmanvaihdon häiritsevän viikunan tai viereisen rautatien aiheuttaman tärinän muodossa. Opinnäytetyön aihetta valitessa halusin aiheen olevan käytännönläheinen, omaa ja yrityksen osaamista syventävä ja hyödyllinen itseni lisäksi muille rakennus- tai akustiikan alalla oleville tai aiheesta muuten kiinnostuneille.

Jokaisessa asuin-, toimisto- tai liikerakennuksessa on lattiana välipohjarakenne (tai vähintäänkin alapohja), joka vaikuttaa useisiin akustisiin ilmiöihin kuten ilma- ja askelääneneristävyyteen, mutta myös huoneakustiikkaan tai lattian värähtelyyn. Aiheen rajaamisessa välipohjat vaikuttivat ilmeiseltä valinnalta. Uusien betoni- tai puuvälipohjien akustiikasta taas on saatavilla hyvin tietoa ainakin vanhoihin välipohjiin verrattuna. Lisäksi vanhojen välipohjien korjaamisessa tulee useasti vastaan muita suunnitteluun vaikuttavia reunaehtoja, kuten rakenteiden suojelu, korkomaaailma, työmenetelmät ja rahallinen kannattavuus. Aihe vaikutti sekä monipuoliselta että haastavalta. Muun muassa näistä syistä lopputyön aiheeksi valikoitui välipohjakorjausten akustiikka.

Minkälaisissa rakennusprojekteissa välipohjien akustiikkaa sitten on tarpeellista miettiä? Listalle nousevat kosteusvauriot, sisäilmaongelmat, rakennusten tai tilojen käyttötarkoituksen muutokset, asuntojen tilamuutokset, pintamateriaalin vaihdot esteettisestä tai käytännön syistä, rakenteiden heikko kantavuus, laadun parantaminen jne. Kaikissa muutoksissa akustiikan lähtökohtana on yleensä ääneneristystason tai muiden akustiikan olosuhteiden säilyttäminen ennallaan tai sen parantaminen. Tässä työn pääpaino on välipohjien ilma- ja askelääneneristyksessä, ja ääneneristyksessä keskitytään aiheen laajuuden takia nimenomaan välipohjaan rakenneosana, eikä käydä tarkasti läpi kunkin välipohjatyypin sivutiesiirtymiä ja liitosdetaljiikkaa.

Välipohjakorjausten akustiikan korjausmenetelmiä selvitetään perustuen kansainvälisiin standardeihin, alan kirjallisuuteen, kaupallisiin sovelluksiin sekä yrityksen ja omaan suunnitteluosaamiseen ja mittaustietokantaan.

Tämä opinnäytetyö tehdään Helimäki Akustikot Oy:lle, joka on yli 20 vuotta sitten perustettu rakennusakustiikan suunnittelua, mittauksia, koulutusta ja tuotekehitystä tarjoava insinööritoimisto. Yritys kuuluu Sitowise-konserniin, jossa on yli 1700 rakennetun ympäristön asiantuntijaa mm. infra- ja talonrakentamisen sekä digipalveluiden saralla.

Tarve rakennusakustiikan käytännönläheiselle kirjallisuudelle on Suomessakin tunnistettu jo vuosikymmeniä sitten, ja ala on edelleenkin pieni vaikkakin voimakkaasti kasvava. Vuonna 1984 julkaistussa kirjan *RIL 129 Ääneneristyksen toteuttaminen* alkusanoissa on (nykyäänkin paikkaansa pitävästi) todettu seuraavaa (Halme & Halme-Salo 1984: 5):

Elintason kohotessa ääneneristykseen kohdistuvat laatuvaatimukset ovat kasvaneet. Kun asumisen minimitarpeet on tyydytetty, pyritään lisäämään asumisen viihtyisyyttä, johon ääneneristyksellä on epäilemättä hyvin ratkaiseva vaikutus. Elintapojen muuttuminen, esimerkiksi vuorotyö, asettaa lisävaatimuksia ääneneristykselle. Samanaikaisesti vaatimustason kohoamisen kanssa on melulähteiden lukumäärä ja voimakkuus kasvanut.

--

Aikaisemmin ääneneristys pyrittiin toteuttamaan vanhoja koettuja, usein raskaita rakenteita käyttämällä. Tällä hetkellä rakennustekniikka muuttuu nopeasti. Rakentamisessa pyritään keveyteen ja teolliseen tuotantoon. Kun ääneneristystä koskeva tietous on ollut puutteellinen, on valittu sopimattomia rakenteita tai tehty työn suoritusvirheitä. Lopputuloksena on ollut jopa melkoisista kustannuksista huolimatta heikko ääneneristys. Äänitekniikan alalta on jo tällä hetkellä melkoisesti kirjallisuutta, mutta niiden päätavoite on ollut fysikaalisten lähtökohtien selvittäminen. Alan tietoudesta ei ole ollut käytännönläheistä esitystä.

Onneksi käytännönläheisiä esityksiä on kirjan julkaisun jälkeen julkaistu, joista yksi on em. kirjan päivitetty versio vuodelta 2003, johon on omana lukunaan lisätty korjausrakentamisen akustiikan parannus. Vuoden 2018 uudistuneiden määräysten takia osa tiedosta alkaa olla vanhentunutta. Tarkoitukseni ja toiveeni on, että tämä opinnäytetyö päivittäisi osaltaan tietoa ajan tasalle ja toimisi muutenkin käytännönläheisenä lisänä alalle.

2 Laskentaperusteet ja määräykset

Tässä luvussa käydään läpi välipohjakorjausten akustiikkasuunnittelun kannalta olennaiset asiat. Luvussa perehdytään akustisiin laskentamalleihin ja niiden takana olevaan teoriaan, vaatimustason määrittämiseen määräysten ja ohjeiden avulla sekä lisäksi akustisiin mittauksiin.

2.1 Peruskäsitteet

Alla esitetyt peruskäsitteet perustuvat julkaisuihin *RIL 129 Ääneneristysten toteuttaminen* (Halme & Halme-Salo 1984: 97–98) ja ympäristöministeriön Ääniympäristöohjeeseen (Ääniympäristöohje 2018: 5 –7).

Ääni on kimmoisassa väliaineessa etenevää aaltoliikettä, jonka ihminen vastaanottaa kuuloaistinsa välityksellä.

Melu on epätoivottua, haitallista tai tarpeetonta ääntä.

Ilmääni on ilmassa etenevää aaltoliikettä eli ilmanpaineen vaihtelua.

Runkoääni on rakenteesta etenevä mekaaninen värähtely, joka aiheuttaa ilmaääntä

Taajuus f ilmoittaa värähdysten luvun aikayksikössä. Yksikkö on hertsi (Hz) eli jaksoa / sekunti. Kuultavan äänen taajuus on noin 16...16 000 Hz.

Äänen nopeus c eli etenemisnopeus on ääniaallon sekunnissa kulkema matka. Etenemisnopeus ilmassa on noin 340 m/s.

Aallon pituus λ on c/f . Ilmäänen aallonpituus on noin 20 mm...20 m normaaleissa olosuhteissa rakennuksen sisällä.

Desibeli (dB) on äänenvoimakkuutta kuvaava suhdeluku. Tehojen N_1 ja N_2 suhde desibeleinä on $L = 10 \lg (N_1 / N_2)$ dB. Esimerkiksi äänenpaineen muutos 10 Pascalista (Pa) 20 Pascaliin kuullaan yhtä voimakkaana kuin muutos 1 Pascalista 2 Pascaliin.

Pinnan absorptiokerroin eli absorptiosuhde a (tai α) on pinnasta palaamatta jääneen ja pintaan kohdistuneen äänitehon suhde. Absorptiokerroin ilmoittaa siis, miten suuren osan äänestä pinta absorboi.

Pinnan absorptiopinta-ala on pinnan absorptiokertoimen a ja alan S tulo aS .

Pinnan ääneneristävyys R ilmoittaa pintaan kohdistuneen äänitehon W_1 ja pinnan läpi kulkeneen äänitehon W_2 suhteen desibeleinä, $R = 10 \lg (W_1 / W_2)$ dB.

Äänen eristäminen tarkoittaa ääniaaltojen etenemisen estämistä. Äänienergian määrä ei vähene.

Äänen vaimentaminen tarkoittaa äänienergian muuttamista toiseksi energiamuodoksi (lämmöksi). Äänen vaimentamisella voidaan tarkoittaa myös äänienergian hajaantumista suuremmalla alueella (leviämisvaimeneminen).

2.2 Ilmaääneneristävyys

Ääni tarvitsee edetäkseen aina välineen, ja ilmassa etenevää ääntä kutsutaan ilmaääneksi. Ilmaääneneristävyydellä R tarkoitetaan rakenteeseen kohdistuneen W_1 ja läpi kulkeeneen W_2 äänitehon suhdetta desibeleinä.

$$R = 10 \log_{10} \frac{W_1}{W_2} \quad (1)$$

R on ilmaääneneristävyys
 W_1 on rakenteeseen kohdistuva äänitehotaso
 W_2 on rakenteen läpi kulkenut äänitehotaso

Käytännön rakenteilla ääneneristävyyden arvot voivat vaihdella 10–100 dB:n välillä eri taajuuksilla, mikä tarkoittaisi W_1/W_2 suhteelle arvoja 0,1–0,0000000001 välillä, joten ääneneristävyys on sovittu logaritmiselle asteikolle. (Halme & Halme-Salo 2003: 9)

2.2.1 Mittaluvut R_w , R'_w ja $D_{nT,w}$

Ilmaääneneristysluku R_w kuvaa rakenneosan ääneneristävyyttä, ja voidaan määrittää joko laboratoriossa mittaamalla tai laskennallisesti. Heittomerkillä varustettu ilmaääneneristysluku R'_w tarkoittaa kentällä mitattua tilojen välistä ääneneristävyyttä, tai tilojen välistä ääneneristävyyden mallinnusta, jossa on huomioitu sivutiesiirtymät. $D_{nT,w}$ on nykyään käytössä oleva mittaluku tilojen väliselle ääneneristävyydelle, eli se on korvannut R'_w :n (huom! heittomerkki). Mittalukujen alaindekseissä oleva w-kirjain tarkoittaa painotettua (weighted) keskiarvoa standardin (SFS-EN ISO 717-1 2013: 2–4) mukaan, jotta yksittäisten taajuuksien ääneneristävyyksistä saadaan vertailukäyrämenettelyllä muodostettua ymmärrettävä ja rakenteen ääneneristystasoa kuvaava yksilukuarvo, kuten esimerkiksi $R_w = 60$ dB. (Ääniympäristöohje 2018: 8; Rakentamismääräyskokoelma C1 1998: 2)

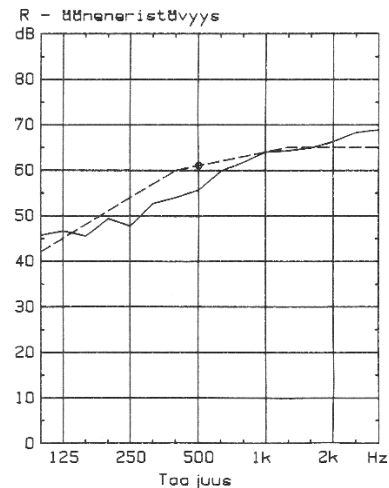
Kentällä mitattu ilmaääneneristävyys on aina rakenneosan ääneneristävyyttä huonompi sivutiesiirtymän takia. Kuvassa 1 on esitetty 235 mm paksun puhtaaksimuuratun kalkkihiekkatiiliseinän laboratoriomittaustulos.

Tehtävä: Ilmaääneneristävyyden määrittäminen
 Menetelmät: ISO 140/3-1978 (R) & ISO 717/1-1982 (ilmaääneneristysluku R_w)
 Kohde: 235 mm kalkkikiekkatiiliseinä puhtaaksimuurattuna; SAKA-tiili,
 KH 270x235x75 täystiili, Kiikalan tehdas.
 Mitat ja paino ilmoitettu/mitattu:
 270/270 * 235/234 * 75/74 mm ja -/8,3 kg
 Seinä muurattiin kahden kaiuntahuoneen väliseen 10,1 m² aukkoon
 (liite 1) 11.-12.4.1989 M 100/600 -laastilla täyteen saumaan
 (laasti tiilen reunakaistoilla), sauma n. 15 mm.
 Mitt.pvm.: 19.4.1989
 Paikka: LVI-tekniikan laboratorio - Otaniemi

Tulokset: dB
 R_w 61
 Maksimip. 6.4 (250Hz)
 $R_{12/24}$ 61 (C5/85 - lisäehto)
 Keskim. er. 57.2

Lähtöhuoneen tilavuus $V_1 = 56\text{m}^3$
 Vastaanottoh. tilavuus $V_2 = 63\text{m}^3$
 Erottavan rakenteen ala $S = 10.1\text{m}^2$

Terssi	R—	Vert--
100	45.7	42
125	46.6	45
160	45.4	48
200	49.3	51
250	47.6	54
315	52.7	57
400	54.1	60
500	55.7	61
630	59.8	62
800	61.7	63
1000	64.0	64
1250	64.3	65
1600	64.9	65
2000	66.3	65
2500	68.3	65
3150	68.9	65



Espoo, 21.4.1989

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
 LVI-tekniikan laboratorio

Kuva 1. Kahi-tiiliseinän ilmaääneneristävyyden mittaustulos laboratoriossa (Äänikirja 1991: 20).

Kuvassa 2 on esitetty vastaavan seinärakenteen kenttämittaustulos kahden asunnon makuuhuoneiden väliltä, joka on 3 desibeliä pienempi (huolimatta siitä, että kenttämitauksessa väliseinä on tasoitettu molemmiin puoliin, mikä parantaa ääneneristävyyttä).

Tehtävä: Ilmaääneneristävyyden määrittäminen
 Menetelmät: ISO 140/4-1978 (R') & ISO 717/1-1982 (ilmaääneneristysluku R'_w)
 Kohde: Asunto Oy Piispanristin Koivulaakso; huoneistojen C14 ja C15
 makuuhuoneiden välinen seinä (liite 1).
 Tilaaajan ilmoittama seinärakenne (liite 2):
 - 235 mm kalkkihiekkaharkko/SAKA Ponttiharkko 298*235*185
 - tasote molemmiin puolin
 Mitt.pvm.: 25.3.1987
 Paikka: Välskärinkatu 42 20720 TURKU

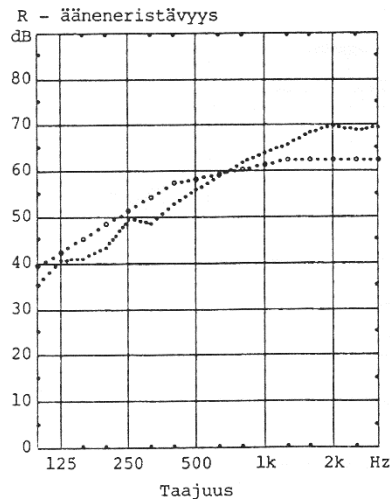
Tulokset: dB
 R'_w/I_a 58/58
 Maksimip. 5.7 (315Hz)
 $R'_{12/24}$ 58 (C5/85 - lisäehto)
 Keskim. er. 55.6

Terssi	R'	Vert. °
100	35.0	39
125	40.4	42
160	40.7	45
200	43.1	48
250	49.2	51
315	48.3	54
400	52.5	57
500	55.6	58
630	58.6	59
800	61.5	60
1000	63.7	61
1250	65.5	62
1600	68.2	62
2000	69.4	62
2500	68.6	62
3150	69.3	62

Espoo, 31.3.1987

VALTION TEKNIILLINEN TUTKIMUSKESKUS
 LVI-tekniikan laboratorio

Lähetysruoneen tilavuus $V_1 = 23.5\text{m}^3$
 Vastaanottoh. tilavuus $V_2 = 23.5\text{m}^3$
 Erottavan rakenteen ala $S = 10\text{m}^2$

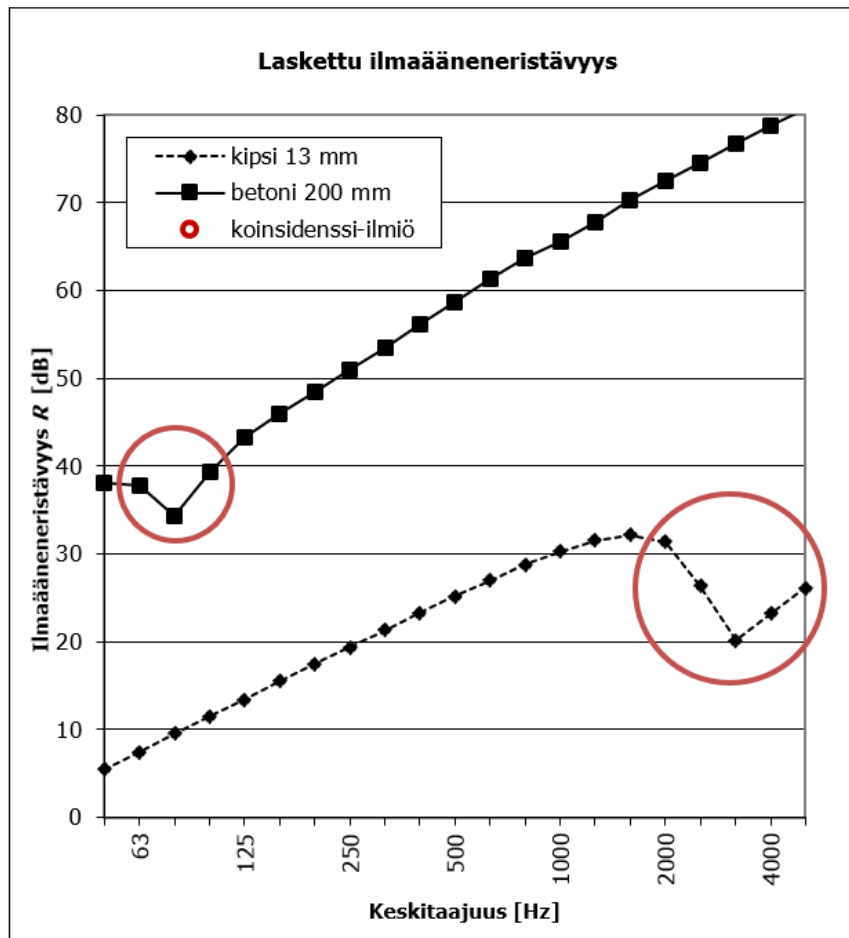


Kuva 2. Kahi-tiiliseinän ilmaääneneristävyyden mittaustulos asuntojen välillä (Äänikirja 1991: 21).

2.2.2 Yksinkertainen rakenne

Yksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristävyyden tärkein tekijä on neliöpaino (kg/m^2). Rakenteen ääneneristävyys paranee karkeasti 4–6 dB joko massan tai taajuuden kaksinkertaistuessa. Koinsidenssin rajataajuudella ääni kytkeytyy rakenteeseen ja läpäisee sen kuitenkin lähes vaimentumatta, koska äänen etenemisnopeus ilmassa on sama kuin taivutusaallon nopeus rakennekerroksessa. Koinsidenssi-ilmiön takia ääneneristävyys heikkenee merkittävästi koinsidenssin rajataajuuden kohdalla sekä sitä suuremmilla taajuuksilla, jossa sen vaikutus kuitenkin hiljalleen heikkenee. Kuvassa 3 on esitetty betoni-seinän ja kipsilevyn lasketut ääneneristävyydet, joista näkee koinsidenssi-ilmiön aiheuttaman koinsidenssikuopan. Ääneneristävyydet on laskettu Helimäki Akustikkojen

laskentaohjelmalla. (Siikanen 2014: 147; Äänikirja 1991: 15–16; Kylliäinen & Hongisto 2007: 47, 71–72)

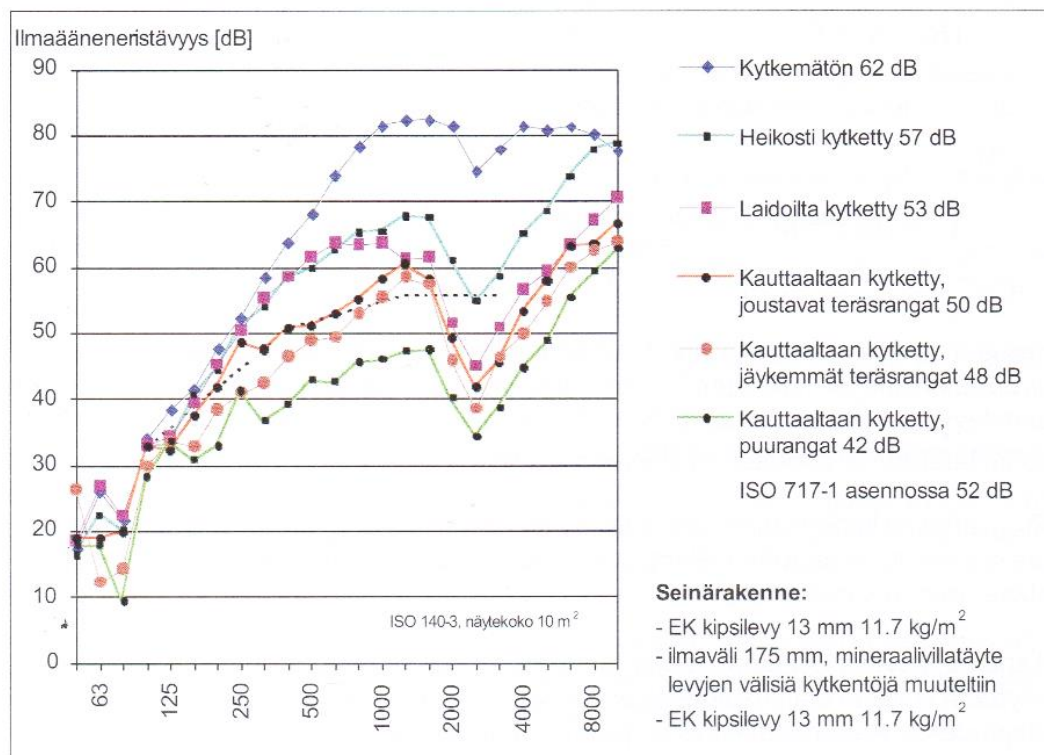


Kuva 3. Koinsidenssi-ilmion vertailu betoniseinän ja kipsilevyn välillä.

2.2.3 Kaksinkertainen rakenne

Kaksinkertainen rakenne tarkoittaa kahta rakennetta, joiden väliin jää ilmapäli. Ilmapäli-
lissä voi olla ääntä vaimentavaa absorptiomateriaalia kuten mineraalivillaa, olla tyhjä (eli
täynnä ilmaa) tai sisältää tukirakenteita, jotka kytkevät rakenteet mekaanisesti toisiinsa.
Yhdellä rakenteella tarkoitetaan ilmapälin jompaakumpaa puoliskoa, ja se voi sisältää
useampia päällekkäisiä rakennekerroksia. (Kylliäinen & Hongisto 2007: 74)

Kaksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristävyydestä ei voi esittää tiiviisti yleispäteviä sääntöjä tai vaikutussuhteita, koska rakenteiden kytkentöjä ja mittoja, materiaalivehtö- ehtoja sekä ilmapölin täyttötäpoja on kovin erilaisia ja näistä muodostuvia kombinaatiota sitäkin enemmän. Kuvassa 4 on vertailtu tavanomaisen levyseinän ilmaääneneristävyyksiä, kun pelkästään kytkentätäpää on muutettu. Kuten kuvan esimerkistä huomaa, heikkenee ääneneristävyys R_w jopa 5–20 riippuen kuinka jäykästi levykerrokset on kytketty toisiinsa. Sama periaate ja teoria pätee yhtä lailla välipohjille. (Kylliäinen & Hongisto 2007: 75)

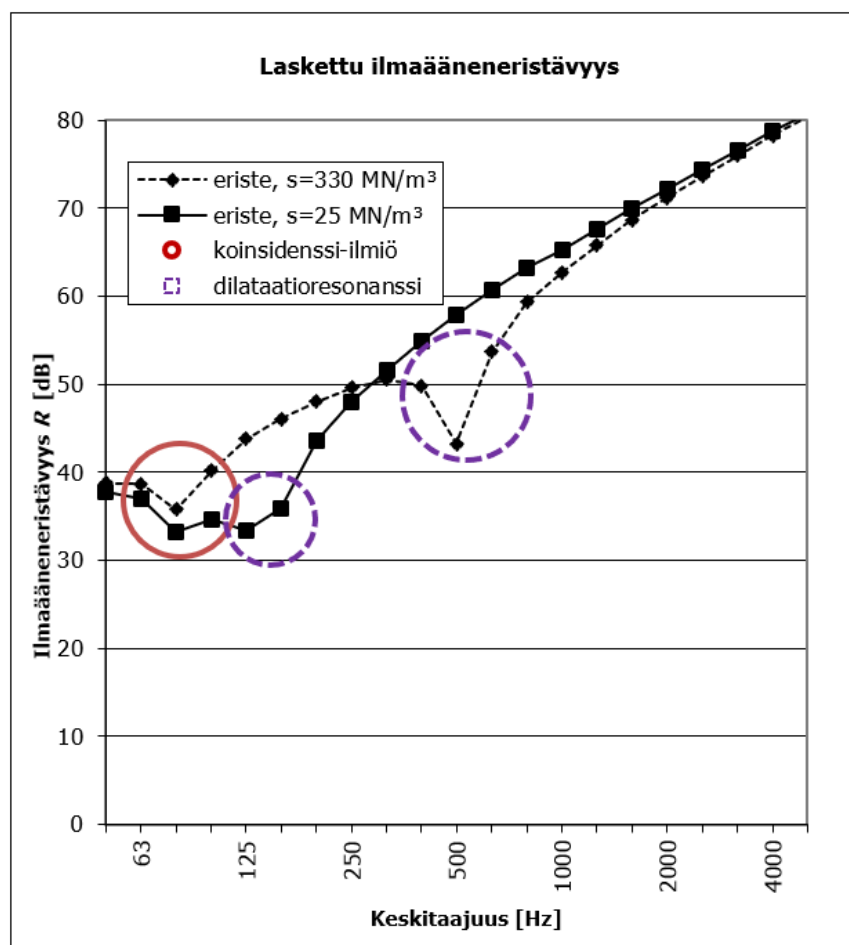


Kuva 4. Kaksinkertaisen levyseinän ääneneristys eri kytkentätavoilla (Kylliäinen & Hongisto 2007: 75).

Kaksinkertaiset välipohjarakenteet ovat yleensä kytkettyjä- tai ns. sandwich-rakenteita, joten tässä luvussa ei käydä läpi tämän tarkemmin kytkemättömien rakenteiden ääneneristävyyttä.

Sandwich-rakenteessa puoliskot on liimattu toisiinsa joustavalla ja kevyellä ydinaineella, jolla on ilmaan verrattuna huomattavasti suurempi dynaaminen jäykkyys. Sandwich-

rakenteen merkittävin ääneneristävyyttä heikentävä tekijä on dilataatioresonanssi, joka riippuu rakennepuoliskojen massasta sekä eristeen dynaamisesta jäykkyydestä. Se on vastaava ilmiö kuin kaksinkertaisen rakenteen massa-ilma-massasysteemin resonanssi, mutta dilataatioresonanssi jää eristeen dynaamisen jäykkyyden takia korkeammalle taajuudelle. Kuvassa 5 on havainnollistettu dilataatioresonanssin vaikutusta kahdella eri dynaamisella jäykkyydellä (s). Lasketut rakenteet ovat 200 mm paksu betonilaatta, jonka päällä on ilmaa läpäisemätön askeläänieriste ja 2 kpl 15,5 mm paksuisia lattiakipsilevyjä. Molemmissa laskentatuloksissa näkyy lisäksi betonilaatan koinsidenssi-ilmiö. (Kylliäinen & Hongisto 2007: 81; Rauhala 2010: 397) Ääneneristävyydet on laskettu Helimäki Akustikkojen laskentaohjelmalla.



Kuva 5. Dilataatioresonanssi

Kytkeytyssä välipohjarakenteessa ääni siirtyy sekä palkkeja pitkin että ilmatilan välityksellä. Palkkien kautta kulkeva reitti on määräävä massa-ilma-massa -resonanssin yläpuolella, eikä ilmapohjan paksuntaminen tai absorptiomateriaalin lisääminen oleellista paranna ääneneristävyyttä, erityisesti, jos palkit ovat hyvin jäykkiä. Kytkeytyssä rakenteessa ääneneristys heikkenee erityisesti keskitaajuuksilla ja suurilla taajuuksilla, siltataajuuden eli yleensä 100–200 hertsin yläpuolella, verrattuna kytkemättömän rakenteen ideaalitalanteeseen. Pienillä taajuuksilla ääneneristys ei juurikaan heikkene, vaan silloin ääneneristys riippuu lähinnä massasta. (Kylliäinen & Hongisto 2007: 78)

Joustavilla kytkennöillä saavutetaan parempi ääneneristys, kunhan joustava tuenta ulottuu myös välipohjan reunoille. Esimerkiksi keskiosilta tärinäeristetyn alakaton levytysten kiinnittäminen kulmalistoilla tilan seiniin on yksi tapa pilata muuten hyvä ratkaisu. Ja mitä pienempi huone on kyseessä, sitä suurempi merkitys on reuna-alueiden kytkennällä suhteellisen osuuden kasvaessa. (Kylliäinen & Hongisto 2007: 78)

2.2.4 Monikerrosrakenne

Kaksikerrosrakenteen periaatteet pätevät monikerrosrakenteeseen, jolla tarkoitetaan vähintään kahden eri ilmapohjan ja kolmen rakennekerroksen rakennetta. Monikerrosrakenteessa on kuitenkin useampia resonanssitaajuuksia, jotka voivat heikentää kokonaisääneneristykseen kannalta olennaisia taajuuksia ja aiheuttaa sen, että ne toimivat kaksikerrosrakennetta huonommin. (Halme & Halme-Salo 1984: 13)

Rakenteiden ääneneristävyyden laskentaan löytyy kaupallinen sovellus Insul, jolla voi laskea erilaisten rakenneyhdistelmien ilma- ja askelääneneristävyyksiä.

2.2.5 Tiiveys

Ääneneristykseen edellytyksenä on rakenteiden tiiveys. Huonosti suunniteltu tiivistys, asennusvirhe tai väärät materiaalit voivat heikentää rakenteella muuten saavutettavaa ääneneristävyyttä. Mikäli rako on tiivistetty kevyellä polyuretaanilla, on rakomateriaalin ääneneristys jo itsessään heikompi kuin raskaamman akryylimassan. Lisäksi elastinen akryylimassa elää rakenteiden mahdollisen liikkeen mukana. Ääntä eristävissä ovissa

ovilevyn tai karmin eläminen, tiivisteiden kuluminen tai alimitoitettujen saranoiden periksi antaminen voivat aiheuttaa vuotoja. Patteriputken betoniläpivienti holvista voi jäädä kokonaan tiivistämättä peitelevyn alta, jolloin on selvää, ettei rakenteella saavuteta toivottua ääneneristystasoa. Rakenteissa olevat raot heikentävät ääneneristävyyttä käytännössä aina, mutta heikentävä vaikutus on suhteellisesti suurin silloin, kun tiiviin rakenteen ääneneristys on korkea. Raon vaikutusta ääneneristävyyteen voidaan laskea yhteisääneneristävyyden kaavalla. (Kananen 2015: 5–6; Kylliäinen & Hongisto 2007: 86)

$$R_{yhteis} = 10 \log_{10} \frac{S_1 + S_2}{S_1 \cdot 10^{\frac{-R_1}{10}} + S_2 \cdot 10^{\frac{-R_2}{10}}} \quad (2)$$

S_1 on seinän pinta-ala

S_2 on raon pinta-ala

R_1 on seinän ilmaääneneristys

R_2 on raon ilmaääneneristys

Raon ääneneristävyys on yleensä turvallista asettaa nolaksi, joten $R_2 = 0$ (Kylliäinen & Hongisto 2007: 86). Jos esimerkiksi välipohjan pinta-ala $S_1 = 10 \text{ m}^2$, välipohjan ääneneristys $R_1 = 60 \text{ dB}$ ja raon pinta-ala $S_2 = 100 \text{ mm}^2$ (sentti kertaa sentti), niin ääneneristys heikkenee noin 10 dB eli on 50 dB.

2.3 Askeläänitaso

Askeläänillä tarkoitetaan kävelystä, esineiden putoamisesta, huonekalujen siirtelystä ja vastaavista lattiaan kohdistuneista iskuista aiheutuvia runkoääniä. Lattiaan kohdistuvat iskut saavat välipohjan värähtelemään ja säteilemään ilmaääntä. Kuten ilmaääneneristävyydessä, on askeläänitason määrittämisessä selvitettävä lähetystilan heräte. Lattiaan kohdistuvan iskun herätettä ei voi kuitenkaan arvioida mittaamalla koputettavan tilan äänenpainetasoa, vaan olennaista on tietää iskun voimakkuus. Koska sitä on vaikea mitata, on mittaamista varten keksitty vakioherätteen aiheuttama standardoitu askeläänikoje, jossa 5 kpl painoltaan 0,5 kg:n metallivasaroita tippuu yhteensä 10 kertaa sekunnissa vapaasti 40 mm:n korkeudesta lattiaan. Koska mittauksessa arvioidaan lähetys-huoneen lattiaan kohdistuvan vakiomuotoisen iskumaisen herätteen tuottamaa äänitاسoa naapuritilaan, ei mittaluku ole ääneneristävyyttä kuvaava, vaan äänitasoa kuvaava. Mitä vähemmän ääntä siirtyy viereiseen tilaan, sitä pienempi askeläänitaso ja parempi askelääneneristävyys. Tämä on siis päinvastoin kuin ilmaäänessä, jossa suurempi

ilmääneneristysluku tarkoittaa parempaa ilmasteneristävyyttä. (Kylläinen & Hongisto 2007: 115)

2.3.1 Mittaluvut $L_{n,w}$, $L'_{n,w}$, $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ ja ΔL_w

Askelään mittaluvuista on syytä esittää ensimmäisenä välipohjan askeläänitasoa kuvaava askeläänitasoluku $L_{n,w}$, joka on joko laboratoriossa mitattava tai laskennallisesti määritetty. Mittaluku kuvaa pelkän yksittäisen rakenteen toimintaa, eikä siinä ole huomioitu rakennekokonaisuutta, johon se valmiissa rakennuksessa liittyy. Heittomerkillä varustettu askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ oli Rakentamismääräyskokoelman C1-1998 mukaan vuoteen 2018 saakka käytössä, ja tarkoittaa kentällä mitattua tilojen välistä ääneneristävyyttä, tai tilojen välistä ääneneristävyyden mallinnusta, jossa on huomioitu sivutiesiirtymät. Nykyään tilojen väliselle askeläänitasolle käytetään mittalukua $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$, jossa muutettiin kahta asiaa. Ensimmäinen muutos, joka tehtiin myös ilmasteneristävyydelle, liittyy vastaanottotilan jälkikaiunta-aikaan, jota ei enää normalisoida 10 m²:n absorptiopinta-alaan, vaan sen sijaan 0,5 sekunnin jälkikaiunta-aikaan. Toinen ja merkittävämpi muutos on mitattavan taajuusalueen muutos, jossa taajuusalue alkaa aikaisempaa pienemmiltä taajuuksilta, ja ulottuu nyt 50–2500 hertsin terssikaistoille. Muutokset tehtiin, koska tutkimusten mukaan standardoitujen mittalukujen tulokset korreloivat paremmin asumisen meluja (kuin normalisoidut mittaluvut) kalustetuissa asuinhuoneissa. Lisäksi taajuusalueen laajennus subjektiivisen kokemuksen kannalta merkittäville pienemmille taajuuksille ei kasvata mittausepävarmuutta aiemmin luullun sijaan. (Ääniympäristöasetus 2018: 1–2; Hongisto & Kylliäinen 2015: 16–17; Kylliäinen & Hongisto 2007: 116–119; Kylliäinen 2006: 91–97)

Pintamateriaalien, kuten parketin tai muovimaton akustisia ominaisuuksia kuvaava askelääniparannusluku ΔL_w , joka kuvaa pinnoitteella saatavaa hyötyä (askeläänin parannusta) verrattuna päällystämättömään massiiviseen betonivälipohjaan (Kylläinen 2006: 97).

2.3.2 Yksinkertaiset betonirakenteet

Homogeenisen betonirakenteen askeläänitaso voidaan laskea standardissa (SFS-EN ISO 12354-2 2017: 24) esitetyn laskentakaavan perusteella.

$$L_n \cong 155 - 30 \lg \frac{m'}{(1 \text{ kg/m}^2)} + 10 \lg \frac{T}{(1 \text{ s})} + 10 \lg \sigma + 10 \lg \frac{f}{f_{ref}} \quad (3)$$

m' on rakenteen pintamassa
 T on rakenteellinen jälkikaiunta-aika
 f on taajuus
 f_{ref} on referenssitaajuus 1000 Hz

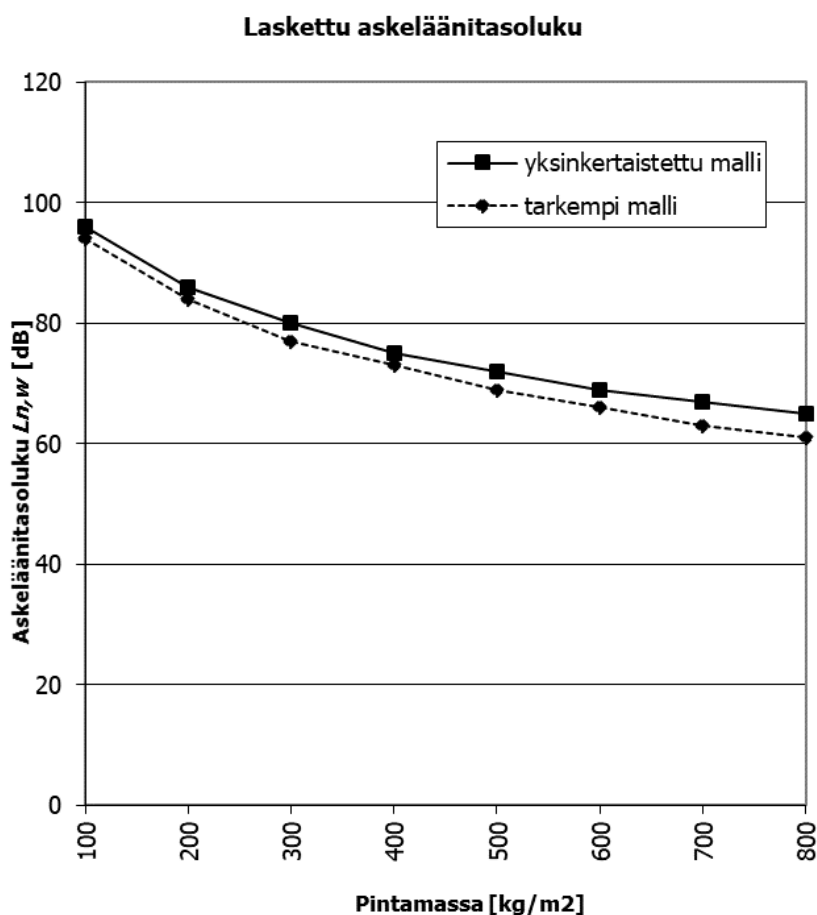
Kaavassa m' tarkoittaa pintamassaa, ja kaavan ensimmäisestä kohdasta on laskettavissa, että betonivälipohjan massan kaksinkertaistuminen pienentäisi askeläänitasoa noin 9 dB. Kun lisäksi huomioidaan kaavan muut kohdat (joiden laskentaa ei tässä tarkemmin käydä läpi) eli rakenteellinen jälkikaiunta-aika T , säteilykerroin σ ja taajuus f , niin betonivälipohjan massan kaksinkertaistuminen vaikuttaa laskentatulokseen 11–12 dB taajuuden mukaan, kun tarkastellaan askeläänien kannalta oleellisia taajuuksia eli 50–2500 Hz. Kaavalla saatavat laskentatulokset koskevat yksinkertaisen betonirakenteen askeläänitasoa tietyllä taajuudella. Ihmisen kuulo-ominaisuudet huomioiva painotettu askeläänitaso $L_{n,w}$ ei muutu samassa suhteessa massan muutoksissa. Laskenta toimii kuitenkin pohjana, kun betonirakenteen lisäksi huomioidaan joustavien pintamateriaalien, kelluvien lattioiden ja alaslaskettujen kattojen vaikutus välipohjan askelääneneristävyyteen. Näiden ns. lisäkerrosten vaikutus on vielä voimakkaammin taajuusriippuvainen ilmiö, ja niitä käydään tarkemmin läpi seuraavissa luvuissa.

Standardissa (SFS-EN ISO 12354-2 2017: 26) on esitetty myös yksinkertainen kaava painotetun askeläänitasoluvun laskemiseksi, kun välipohjan massa on välillä 100–600 kg/m². Kaava toimii myös tiheydeltään kevyemmille kivirakenteille, mutta tulokset ovat tällöin hieman varman päälle.

$$L_{n,eq,0,w} = 164 - 35 \lg \frac{m'}{(1 \text{ kg/m}^2)} \quad (4)$$

m' on rakenteen pintamassa

Edellä mainituilla kaavoilla saatuja tuloksia on mielenkiintoista verrata toisiinsa nähden. Ensin mainitun kaavan tuloksiin tulee ensin tehdä taajuuspainotus "w", ja laskea yksilukuarvot. Kaavoilla saatavien yksilukuarvojen vertailu on esitetty kuvassa 6. Laskentatulokset on pyöristetty ylöspäin kokonaisluvuiksi, koska näin tehdään myös mittaustulosten laskennassa.



Kuva 6. Betonivälipohjien askeläänitason $L_{n,w}$ laskentatulokset

Laskentamallilla saatavat tulokset eroavat 100–600 kg/m² alueella 2–3 dB, ja kevyemmillä tai painavammilla rakenteilla ero kasvaa.

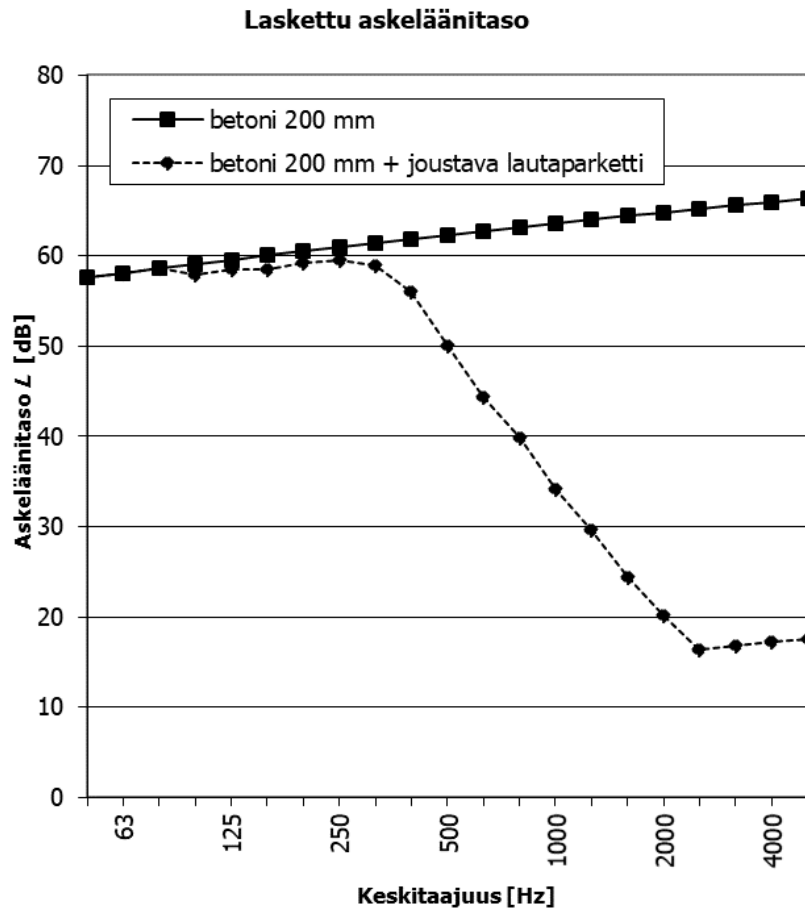
Tarkemmalla laskentakaavalla saatavan yksilukuarvon laskentatarkkuudesta on mainittu, että pystysuuntaiselle ääneneristävyydelle pätee 2 dB:n keskihajonta. Yksinkertaisen mallin keskihajontaa ei ole annettu, vaan se pitäisi arvioida erikseen.

ilmääneneristysstandardin kaavojen periaatteiden perusteella. Ilmääneneristysten yksinkertaisen mallille keskihajonnaksi on annettu 2 dB, mutta jonkin syyn takia vastaava ei askeläänelle ole annettu. (SFS-EN ISO 12354-1 2017: 24; SFS-EN ISO 12354-2 2017: 20)

2.3.3 Joustavat pintamateriaalit

Pelkän betonirakenteen askelääneneristävyys on järjellisillä välipohjapaksuuksilla hyvin huono, ja yksinkertaisin keino vaimentaa askelääniä on vaimentavien pintamateriaalien käyttö. Vaimentavia pintamateriaaleja on mm. pehmeäpohjaiset muovimatot sekä kelluvat lautaparketti- ja laminaattilattiat, kunhan niiden alle asennetaan joustava alusmateriaali. Asuntoihin tarkoitetun, hyvän pintamateriaalin askelääneparannusluku ΔL_w on yleensä 17 dB tai enemmän. (Kylläinen 2006: 99–100)

Kovien pinnoitteiden, kuten laattalattian tai puulattian jäykkä kiinnitys alustaan, askelääneparannusluku on lähellä nollaa, ja asennustavasta ja materiaalista riippuen päällysteiden arvot vaihtelevatkin pääosin 0–20 dB:n välillä. Päällysteiden askelääneparannusluku on laboratoriomittauksen avulla saatu arvo pelkkään betonilattiaan verrattuna, joten sitä ei voi soveltaa muun tyyppisiin joustavampiin välipohjiin. Kahta pintamateriaalia ei voi myöskään asentaa päällekkäin, ja laskea askelääneparannuslukuja yhteen. Joustavan pintamateriaalien vaimennus on yleensä tehokasta vasta 500 hertsin taajuudelta alkaen, mutta voi yksittäisillä taajuuksilla jopa heikentää eristävyttä. Laskenta on aina varmintä tehdä taajuuskaistoittain eikä yksilukuarvojen avulla. Kuvassa 7 on esitetty erään joustavan lautaparketin vaikutus betonivälipohjan askeläänitasoon.



Kuva 7. Erään joustavan lautaparketin ja betonivälipohjan askeläänitasot

2.3.4 Kelluvat lattiat

Kelluva lattia on levy- tai valumassarakenne, joka on asennettu joustavan eristekerroksen avulla kantavan välipohjarakenteen päälle. Kelluva lattia muodostaa alustansa kanssa kaksoisrakenteen, jonka eristävyys paranee lisäämällä puoliskojen (lähinnä kelluvan laatan) massaa tai lisäämällä välissä olevan eristeen joustavuutta. Tällaista voi kutsua myös jousi-massa-järjestelmäksi, jonka ominaistaajuus lasketaan seuraavasti, kun oletetaan kantavan rakenteen olevan hyvin jäykkä kelluvaan rakenteeseen verrattuna. (Halme & Halme-Salo 2003: 134, 262; SFS-EN ISO 12354-2 2017: 28)

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m}} \quad (5)$$

s' on dynaaminen jäykkyys
 m' on rakenteen pintamassa

Kaavassa s' on joustavan eristekerroksen dynaaminen jäykkyys MN/m^3 ja m kelluvan lattian pintamassa kg/m^2 . Järjestelmän ominaistaajuudella ja sen läheisyydessä ääneneristys heikkenee merkittävästi, mutta pienemmillä taajuuksilla ei tapahdu muutosta. Ääneneristys paranee vasta suuremmilla taajuuksilla, eli taajuuden ylittäessä $f_0 \cdot \sqrt{2}$ (Halme & Halme-Salo 2003: 263). Resonoivasti reagoivan lattian, jossa kelluva laatta toimii kokoalaltaan vuorovaikutuksessa eristeen kanssa, parannusvaikutus voidaan laskea seuraavalla standardissa esitetyllä kaavalla (Hongisto 2013: 80; SFS-EN ISO 12354-2 2017: 28).

$$\Delta L = 30 \lg \frac{f}{f_0} \quad (6)$$

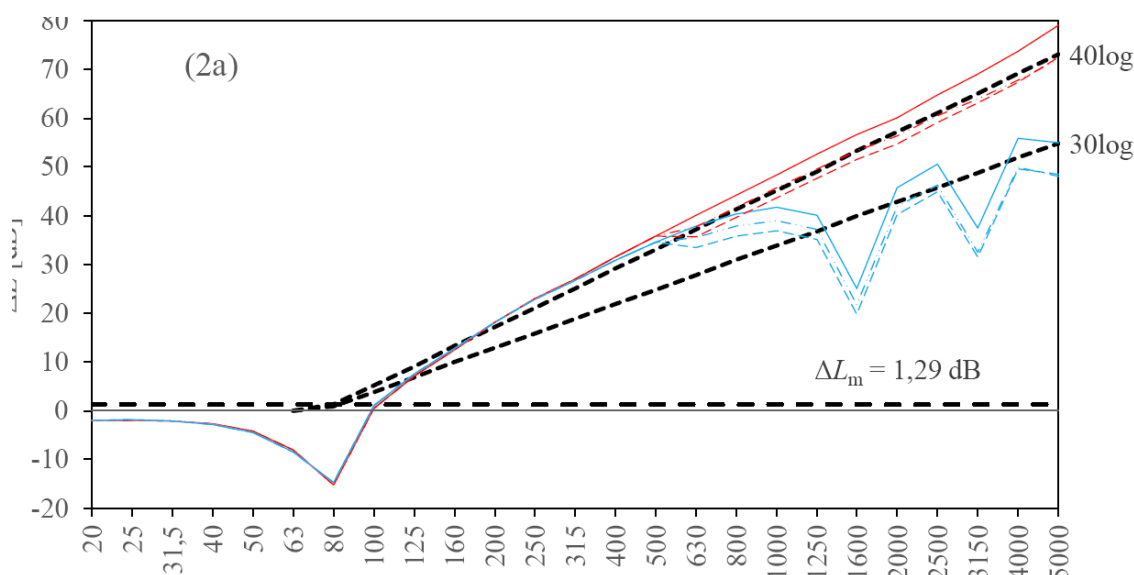
f on taajuus
 f_0 on ominaistaajuus

Parannusvaikutus on standardin mukaan varmalla puolella. Paikallisesti reagoivilla eli kelluvilla levylattioilla parannusvaikutus on seuraavan kaavan mukainen eli hieman suurempi. (Hongisto 2013: 80; SFS-EN ISO 12354-2 2017: 28)

$$\Delta L = 40 \lg \frac{f}{f_0} \quad (7)$$

f on taajuus
 f_0 on ominaistaajuus

Muitakin laskentamalleja löytyy. Resonoivasti reagoivalle lattialle on esitetty Rindelin kirjassa (Rindel 2018: 291) edellisestä hieman laajennettu laskentamalli, jossa otetaan huomioon yleensä hieman ominaistaajuuden yläpuolelle osuva rajataajuus, jonka jälkeen parannusvaikutus vähenee. Lisäksi viime akustiikkapäivien julkaisussa (Kovalainen ym. 2019: 33–40) on esitetty Gudmundssonin raporttiin perustuva laskentamalli, joka edellisistä poiketen huomioisi resonanssin heikentävän vaikutuksen ominaistaajuuden kohdalla sekä kelluvan laatan massalisäyksen. Kuvassa 8 on esitetty eri laskentamalleilla saatavia eroja, kun rakenteena on 40 mm:n kuitutasoite, 30 mm:n EPS-pohjainen eriste ja 200 mm:n kantava betonilaatta.



Kuva 8. Kelluvan lattian eri malleilla laskettuja parannusvaikutuksia (Kovalainen ym 2019: 37).

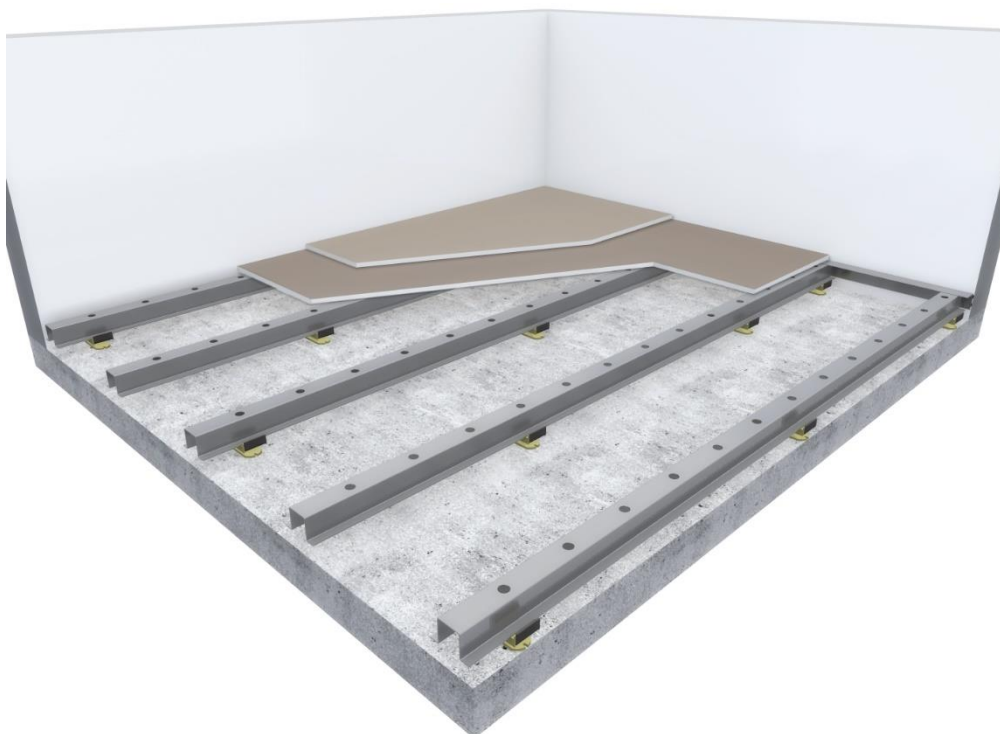
Standardin kaavojen käyttö voi olla ongelmallista ominaistajuuden kohdalla. Kelluvan lattian askelääniparannus tulisi huomioida vasta ominaistajuuden yläpuolella, esimerkiksi $f_0 \cdot \sqrt{2}$ taajuudesta lähtien (Halme & Halme-Salo 2003: 263). Tällöin ominaistajuuden ollessa tasan 100 Hz tulisi parannusta vasta yli 141 Hz:n taajuudella eli käytännössä 160 Hz:n terssikaistan keskitaajuudelta alkaen. Kaavan perusteella parannus eli askeläänien alenema olisi noin 6 dB, joka vaikuttaa järkevältä arvolta. Koska askelääni alenee melko nopeasti taajuuden kasvaessa, ei suurilla taajuuksilla ole yleensä painotetun askeläänitasoluvun kannalta merkitystä, vaan usein riittää heikentävän alueen (ominaistajuudella ja sen läheisyydessä) sekä heti niiden yläpuolella olevien suurempien taajuuksien huomiointi. Resonanssialueen heikennyksen arvioimiseksi ei ole valitettavasti luotettavaa kirjallisuustiedettä, mutta arviointia voi tehdä myös laboratorio- tai kenttämitaustulosten avulla, mikäli niitä on saatavilla. Turvallisinta olisi tietysti valita rakenteen ominaistajuudeksi reilusti alle 50 hertsiä, mutta tyypillisesti asuntojen kelluvien lattioiden pintamassoista halutaan kevyitä, jolloin ominaistajuus jää 50–100 hertsin välille.

2.3.5 Asennuslattiat

Asennuslattialla tarkoitetaan lattiarakenteen korottamista kevyen runkorakenteen ja pintakerroksen avulla, jotta väliin jäävää ilmatilaa voidaan käyttää ilmanvaihtokanavien,

sähkö- tai sprinkler-putkien, viemärien tai muun LVIS-tekniikan asennustilana. Tekniikan huolto ja korjaaminen on helppoa ja parantaa tilojen muuntojoustavuutta. Asennuslattia toimii kelluvan lattian tavoin, jos asennuslattia irrotetaan kantavasta rakenteesta täri-
näeristimien avulla. (Kylliäinen 2006: 103)

Kuvassa 9 on esitetty esimerkkinä ProfAL-asennuslattian periaatekuva.



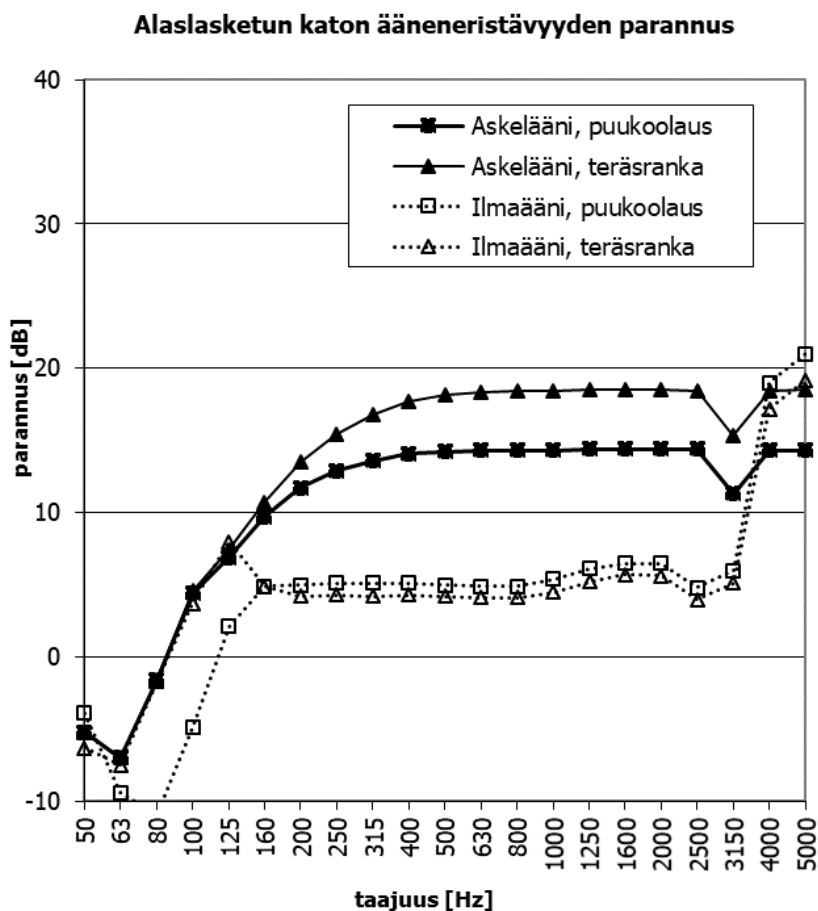
Kuva 9. ProfAL-asennuslattia (Aulis Lundell Oy 2018).

2.3.6 Ääntä eristävät alakatot

Kun välipohjan alle sijoitetaan huonekorkeutta pudottava runkorakenne ja levykerrokset, on kyseessä ääntä eristävä alakatto. Sen toiminta perustuu välipohjarakenteen äänen säteilyn vähentämiseen. Alakatto ei ole yhtä tehokas keino parantaa askelääneneristävyyttä kuin kelluva lattia, koska alakatto ei vaimenna välipohjaan kohdistuvaa iskua, eikä vaimenna sivutiesiirtymiä välipohjasta seinärakenteisiin (toisin kuin kelluva lattia). Asuinrakentamisessa alakatolla voidaan alentaa askeläänitasoa yleensä enintään 3–5

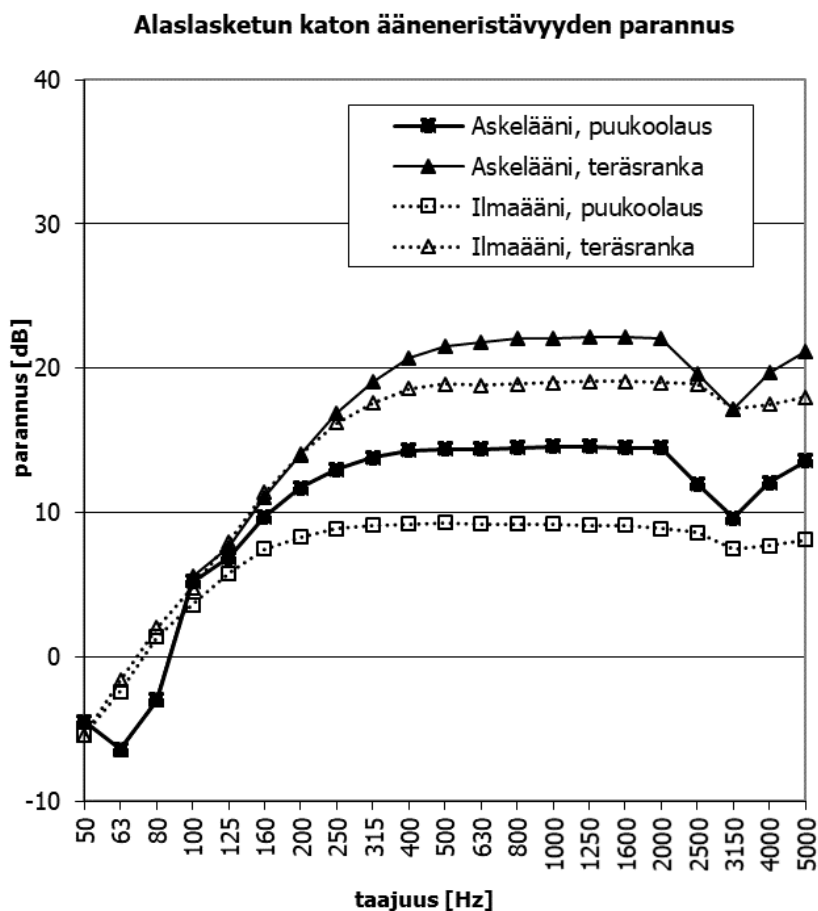
desibeliä. Alakattorakenteen ongelmaksi voi nykyään muodostua pienet taajuudet, koska kaksinkertaisen rakenteen muodostama massa-ilma-massa -resonanssi on yleensä 100 Hz:n tietämillä, jolloin spektrivaikutustermi $C_{1,50-2500}$ huonontaa askeläänitasolukua. Esimerkiksi kenttämittauksissa on todettu, että 240 mm:n betonirakenteen alle tehty 70 mm:n teräsrunko, jonka välissä on mineraalivilla sekä pinnassa kipsilevy, askeläänenparannus on resonanssin ja spektripainotusterman takia vain 2 desibeliä. Vanhaan määräykseen verrattuna parannus oli 4 dB. (Hongisto 2013: 83; Kylliäinen 2006: 103–104; Halme & Halme-Salo 2003: 135)

Alakaton avulla välipohjasta tulee kytketty kaksi- tai monikerrosrakenne hieman lukujen 2.2.3 ja 2.2.4 tapaan, ja hyvään ääneneristävyyteen päästään samoilla periaatteilla eli vähentämällä kytkentöjen määrää tai jäykkyyttä, kasvattamalla levykerrosten massaa ja ilmapälin paksuutta sekä lisäämällä absorptiomateriaalia ilmapäliin. Alakaton vaikutus askeläänitasoon määrittyy kahden reitin perusteella. Ensimmäinen reitti on välipohjarakenteen säteilemä ilmapäliä ääntä eristävän alakaton kaviteettitilan ja levykerrosten läpi. Toinen reitti on välipohjarakenteesta siirtyvä energia kiinnikkeiden kautta alakaton levykerrokseen, ja edelleen sen säteilemäksi ilmapäliksi. Alakaton vaikutusta ilma- ja askelääneneristävyyteen on pyritty havainnollistamaan kuvassa 10 Insul-ohjelmalla laskentatulosten perusteella. (Insul 2020)



Kuva 10. Insul 9.022-ohjelmalla lasketut alakaton parannusvaikutukset ilma- tai askelääneneristävyyteen. Välipohjarakenteena 200 mm betoni, jonka päälle on laskettu joko teräs- tai puukoolaus 100 mm K600, ilmatilassa mineraalivillaa 50 mm ja pinnassa kipsilevy.

Laskentatulosten mukaan alakatto parantaisi nimenomaan askelääneneristävyyttä enemmän kuin ilmaääneneristävyyttä. Itse ennakoon oletin asian olevan juuri päinvastoin, ja että askeläänen iskun aiheuttama energia kytkeytyisi koolausten kautta voimakkaasti ääneneristysalakattoon. Odottamattomien laskentatulosten takia vastaavat rakenteet laskettiin Insul:in vanhemmalla versiolla, ja tulokset on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Insul 7.013-ohjelmalla lasketut alakaton parannusvaikutukset ilma- tai askelääneneristävyyteen. Välipohjarakenteena 200 mm betoni, jonka päälle on laskettu joko teräs- tai puukoolaus 100 mm K600, ilmatilassa mineraalivillaa 50 mm ja pinnassa kipsilevy.

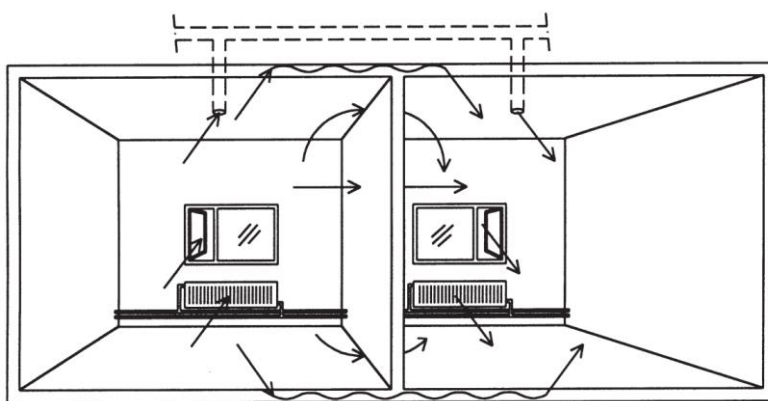
Vanhempi ohjelmaversio antaa paljon parempia ääneneristävyyksiä, joten suunnittelussa on syytä käyttää ohjelman uusinta versiota. Parannuserot olivat myös hyvin suuria ilma- ja askeläänien välillä, joten varmuuden vuoksi voi olla suositeltavaa käyttää aina ilmäännellä laskettuja huonompia parannuslukuja, oli kyseessä kumpi ilmiö tahansa. Laskentaepätarkkuuksien vuoksi tuloksia kannattaa myös verrata laboratorio- ja/tai kenttämittaustuloksiin, mikäli mahdollista.

2.3.7 Tiiveys

Ääntäeristävien rakenteiden peruslähtökohta on se, että rakenteet ovat tiiviitä. Välipohjan tiiveys ja raot voivat heikentää askelääneneristävyyttä ilmaäänien tapaan, mutta vaikutus on yleensä pienempi. Rakojen vaikutus on suurin silloin, kun lattian pintamateriaali on kova, ja iskuista syntyy voimakasta kopinaa eli ilmaääntä lähetyshuoneeseen. Tällöin raon vaikutusta voi haluttaessa yrittää arvioida kohdan 2.2.5 kaavaa soveltamalla, vaikka se ei sellaisenaan askeläänien sovellu. Useimmiten rakojen vaikutusta ei ole tarpeen selvittää askeläänien takia, vaan mikäli ilmaääneneristysvaatimus tilojen välillä täyttyy, ei raoista tarvitse askeläänien takia enää murehtia.

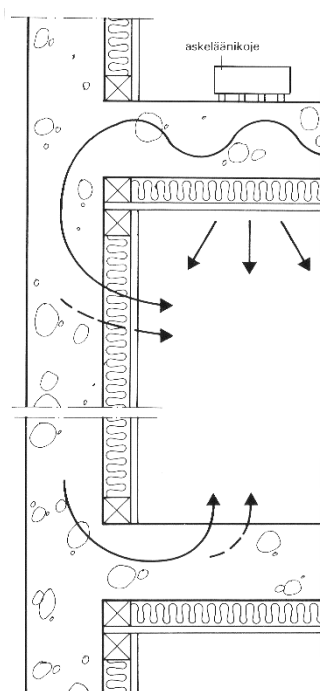
2.4 Sivutiesiirtymä

Luvuissa 2.2 ja 2.3 on käyty läpi yhden rakenneosan ilma- tai askelääneneristävyyttä, mutta ääni siirtyy rakennuksessa aina kahta tilaa erottavan rakenneosan (väliseinän tai välipohjan) lisäksi muita sivuavia rakenteita tai talotekniikan asennuksia pitkin. Rakennuksessa kahden tilan välillä mitattu ääneneristävyys on aina useamman desibelin, joskus jopa 10...20 desibeliä tai enemmän, huonompi, mitä rakenneosan laboratorioarvo – siksi sivutiesiirtymä tulee poikkeuksetta ottaa huomioon kahden tilan välistä ääneneristävyyttä arvioitaessa. Sivutiesiirtymän huononnuks tarkoittaa ilmaääneneristävyydessä arvon pienentymistä ja askeläänitasoluvussa arvon suurentumista. Kuvassa 12 on esitetty ilmaäänien sivutiesiirtymäreittejä rakennuksessa.



Kuva 12. Ilmaäänien sivutiesiirtymäreittejä rakennuksessa (Helimäki & Kylliäinen 2001).

Alla kuvassa 13 on havainnollistettu askeläänen siirtymäreittejä ylemmästä tilasta alempaan.



Kuva 13. Askeläänen sivutiesiirtymä rakennuksessa (Halme & Halme-Salo 1984: 52).

Tapauksessa merkittävin reitti on suoraan katon läpi, vaikka betonilaatan alle onkin tehty lisä-ääneneristys puurungon, eristeen ja rakennuslevyn avulla. Askeläänikojeen värähtely välipohjasta etenee seinään, jonka säteilemää ääntä on myös vähennetty lisäverhouksella – värähtely on kuitenkin vaimentunut seinien ja välipohjan T-liitoksessa, joten reitti ei ole niin merkitsevä. Lopuksi kuvassa on esitetty nuolilla värähtelyn eteneminen seinästä alemman kerroksen lattiaan. Lattian säteilemä ääni on karkeasti sanoen samaa luokkaa seinän kanssa toisessa T-liitoksessa tapahtuman vaimeneman takia, vaikka lattian päällä ei olekaan lisä-ääneneristystä.

Ilmaäänen sivutiesiirtymässä noudatetaan samoja periaatteita, eli rakenteessa etenevä värähtely vaimenee liitoksissa ja vaimentamisessa on tehokkainta kohdistaa toimet aina äänen etenemisen kannalta helpoimpaan reittiin. Huomionarvoista on, että ilmaääni kytkeytyy lähetystilassa lähtökohtaisesti yhtä voimakkaasti kaikkiin lähetystilan rakenteisiin, eikä kuten askeläänessä iskuina pelkästään lattiaan. Lisäksi ilmaäänessä muita

merkittäviä sivutiesiirtymäreittejä voi olla ilmanvaihtokanavan ilmatila tai vaippa, lämmitysradiaattori tai muu talotekninen laite.

2.4.1 Laskenta

Sivutiesiirtymän laskenta tarkasti voi olla melko työlästä, koska sivuavien rakenteiden laboratorioarvojen lisäksi laskennassa tulee huomioida rakenteiden välisten liitoksen tyyppi, liitosten pituudet ja massat, rakenneosien pinta-alat jne. Mikäli heikoimmat ja oleelliset sivutiesiirtymät osataan tunnistaa, voidaan taas laskenta tehdä nopeasti ja yksinkertaisesti laskentataulukko-ohjelmalla standardeja (SFS-EN ISO-12354-1:2017; SFS-EN ISO 12354-2:2017) noudattaen. Sivutiesiirtymän laskennassa on yleensä riittävää huomioida vain ensimmäisen kertaluokan sivutiesiirtymät, vaikkakin todellisuudessa ääni siirtyy lukemattomia kertaluokkia ja reittejä pitkin.

Joissain tilanteissa toisenkin kertaluokan sivutiesiirtymän mitoittaminen on tarpeen, kuten alhaalta ylöspäin askelääntä arvioitaessa (1. sivutiesiirtymä lattiasta seinään ja 2. seinästä kattoon). Standardoidun askeläänitason $L'_{nT,w}$ laskemiseksi on julkaistu (Mateus ym 2018: 276–281) seuraavan kaavan mukainen yksinkertaistettu malli:

$$L'_{nT,w} = L'_{nT,w,0} - (\Delta L_w - K') \quad (8)$$

jossa $L'_{nT,w,0} = 76 - 11 \log(m) + 12 \log(L_{ER})$

ja $K' \approx 8$, kun $L'_{nT,w,0} \leq 51$ dB

$K' \approx 7-5$, kun $52 \leq L'_{nT,w,0} \leq 55$ dB

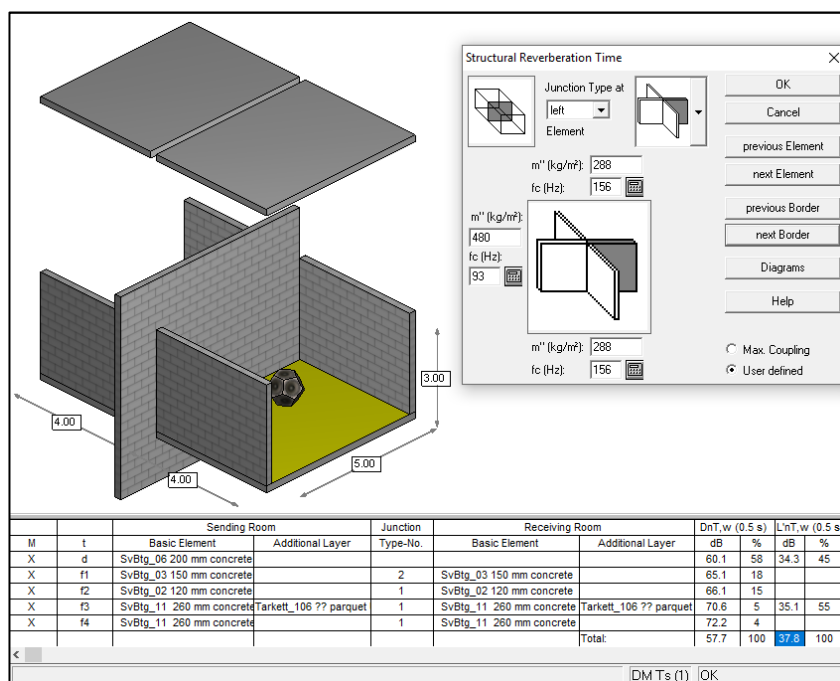
$K' \approx 4$, kun $L'_{nT,w,0} \geq 56$ dB

m on koputettavan rakenteen pintamassa (kg/m²)

L_{ER} on liitospituus jatkuvilla seinäpinnoilla (m)

Esimerkiksi voidaan ottaa luvussa 2.3.3 esitetty 200 mm betonivälipohja, jonka päällä joustava lautaparketti, mutta tällä kertaa lasketaan askelääneneristävyys päinvastoin eli alhaalta ylöspäin. Betonirakenteen pintamassa on 500 kg/m² ja pintamateriaalin askeläänienparannusluku 18 dB. Oletetaan, että tiloja yhdistäviä kiviseiniä on vain 1 kpl eli 3 m leveä ulkoseinärakenne, jossa on 1 m leveä ikkuna, jolloin liitospituudeksi saadaan 2 metriä. Kaavan perusteella $L'_{nT,w,0}$ arvoksi saadaan 50 dB ja K' arvoksi siten 8 dB. Summasta 58 dB vähennetään askeläänienparannusluku 18 dB, jolloin tilojen väliseksi askeläänitasoluksi $L'_{nT,w}$ saadaan 40 dB.

Sivutiesiirtymän laskenta on helppoa käyttämällä kaupallisesti saatavaa mallinnusohjelmaa, kuten esimerkiksi kuvassa 14 esitettyä Bastiania (Bastian 2020). Ohjelma perustuu edellisessä kappaleessa ja luvuissa 2.1 ja 2.2 jo jossain määrin läpi käytyihin ISO-standardeihin (DataKustik GmbH). Ohjelmasta enemmän kiinnostuneille löytyy interne-
tistä ladattava kalvosarja *Bastian Power Point presentations* (Simmons akustik och utveckling 2020).



Kuva 14. Bastian-mallinnusohjelma

Ilmaisia samoihin standardeihin perustuvia työkaluja löytyy verkosta. Saatavilla on suomenkielinen selainkäyttöinen sovellus askeläänitasolukujen laskentaan sekä kahi-väli-seinien ilmapääeneristävyyttä varten ladattava työpöytäsovellus. Jälkimmäisen käyttö-
kieli on saksa tai englanti, mutta kattavat käyttöohjeet ovat kuitenkin suomeksi. (Saint-Gobain Finland Oy 2018; Saint-Gobain Finland Oy 2020)

2.4.2 Rakenteellisen sivutiesiirtymän vähentäminen

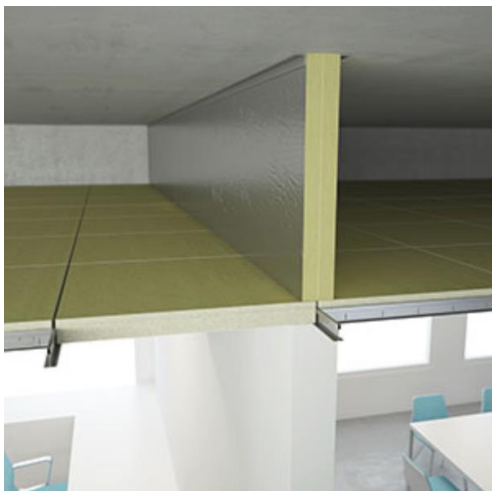
Kuten luvussa on jo mainittu, sivutiesiirtymää voidaan vähentää äänen säteilyä vähen-
tävillä lisäverhouksilla. Lisäverhoukset voivat olla kevyitä levyrakenteita tai massiivisia

tärinäeristimien varaan asennettuja. Toinen keino on muuttaa rakenteiden liitoksia siten, että äänen eteneminen tiettyyn suuntaan vähenee tai katkaistaan kokonaan. Välipohjien ilmaääneneristyksestä puhuttaessa yhtenä erikoiskeinoja on ääntäeristävät ja ääntävaimentavat alakattolevyt. Niihin liittyy mittaluku $D_{n,f,w}$, joka kuvaa kattorakenteen ääneristävyyttä kahden vaakasuunnassa vierekkäisen tilan välillä. Kyseisen erikoiskattolevyn käyttäminen voi olla hyödyllistä esimerkiksi kahden toimistotyöhuoneen välillä, jos seinää ei voi muuntojoustavuuden takia alakaton yläpuolelle rakentaa. Tällaiset kattolevyt koostuvat yleensä joko kevyestä mineraalivillalevystä ja taustalle asennetusta painavammasta levystä (kipsi, raskas villa) tai ovat kevyttä mineraalivillaa hieman tiheämpiä yksiaineisia levyjä. Kuvassa 15 on esitetty esimerkki ensin mainitusta, Parocin Decibel Mass.



Kuva 15. Paroc Decibel Mass ääneneristys ja -vaimennuslevy (Paroc Group Oy 2019).

Alakattolevy voidaan yhdistää pystysuoraan väliseinän päälle asennettavaan ääneneristyslevyyn. Kuvassa 16 on esitetty esimerkki yksiaineisesta levystä Paroc Parafon Decibel Barrier, jonka paksuus on 40 mm ja tiheys 120 kg/m^3 (Paroc Group Oy 2019).



Kuva 16. Paroc Decibel Barrier ääneneristyslevy (Paroc Oy 2019).

Ääntä eristävät alakattolevyt parantavat tietysti myös pystysuuntaista eli välipohjan ääneneristävyyttä. Vaikutuksen laskenta on helpointa, kun alakattolevystä on ilmoitettu R_w arvo tai vähintään sen määrittämisessä tarvittavat materiaaliominaisuudet. Taulukossa 1 on esitetty esimerkkinä Parocin ilmoittamien alakattolevyjen R_w ja $D_{n,f,w}$ arvot.

Taulukko 1. Parocin akustiikkalevyjen ääneneristävydet (Paroc Group Oy 2019).

Levy	Rakenneseosan ääneneristävyys (ISO 10140) R_w	Sivutiesiirtymän ääneneristävyys (ISO 10848-2:2017) $D_{n,f,w}$
Decibel Light 40 mm	21	35
Decibel Mute 55 mm	24	42
Decibel Mass 53 mm	31	43

2.5 Huoneakustiikka

2.5.1 Jälkikaiunta-aika

Välipohjakorjausten huoneakustiikan kannalta ehkä tärkein tai ainakin helpoiten ymmärrettävä mittaluku on jälkikaiunta-aika T , jolla mitataan sitä aikaa sekunteina, jona äänilähteen tilaan tuottama äänitaso vaimenee 60 dB siitä, kun äänilähde on sammutettu.

Puheen kannalta lyhyt jälkikaiunta-aika (alle 0,5 sekuntia) tarkoittaa tavujen vaimenemista nopeasti, kun pidempi jälkikaiunta-aika (yli 1,5 sekuntia) aiheuttaa tavujen soimista toistensa päälle, jolloin puheen selvyys kärsii. Yleensä lyhyt jälkikaiunta-aika on eduksi, mutta varsinkin suurissa ja hyvin vaimennetuissa tiloissa äänenvoimakkuus voi edetessään vaimentua liikaa, eikä puhe erotu riittävästi taustäänitasosta. Jälkikaiunta-ajan pituuden diffuusissa kentässä voi laskea Sabinen kaavalla. (Kylliäinen & Hongisto 2007: 50; Äänikirja 1991: 14)

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (9)$$

V on tilavuus
 A on absorptiopinta-ala

Kaavassa absorptiopinta-alalla A tarkoitetaan koko tilan kaikkien pintojen yhteenlaskettua absorptiopinta-alaa. Tarvittaessa kaavaan voidaan lisätä ilman aiheuttama absorptio. Kunkin pinnan absorptiopinta-ala lasketaan pinta-alan ja pinnan absorptiosuhteen tulona. Pintojen absorptiosuhteet vaihtelevat 0 ja 1 välillä taajuuden mukaan. Kivirakenteissa ääni ei vaimene juuri lainkaan ja arvo on lähes 0, kun paksuilla akustiikkalevyillä arvo on 1, pienimpiä taajuuksia lukuun ottamatta. Diffuusi äänikenttä tarkoittaa, että kaikkialla tilassa vallitsee sama äänenpainetaso. Varsinaisesti vain standardin mukaisessa kaiuntahuoneessa olosuhteet ovat diffuusit, mutta Sabinen kaava on siitä huolimatta riittävän tarkka suurimmassa osassa tiloja. Kaava ei anna oikeita tuloksia, mikäli absorptiomateriaali keskittyy vain yhteen pintaan muiden pintojen ollessa täysin heijastavia. Jos tila on suuri tai absorptiomateriaalia on paljon kuten hyvin toteutetussa avotoimistossa tai kirjastossa, tulee laskenta tehdä tarkemmilla menetelmillä. (Kylliäinen & Hongisto 2007: 49–50; Äänikirja 1991: 14)

Rakennusten ilma- ja askelääneneristävyyden mittauksissa mitataan aina vastaanottotilan jälkikaiunta-aika, jonka avulla mittaustuloksia korjataan, jotta huoneen kalustus ei vaikuta mittaustulokseen.

2.5.2 Puheensiirtoindeksi

Huoneakustiikan toinen olennainen, ja vuoden 2018 rakennusakustiikan määräysten uudistuksen yhteydessä uutena tullut, mittaluku on puheensiirtoindeksi STI (speech transmission index), jolla kuvataan puheen erotettavuutta puhujan ja kuulijan välillä eli sitä, kuinka hyvin kuulija saa selvää puhujan puheesta. Välipohjien rakennekorjausten yhteydessä uusitaan usein myös katon akustinen verhoilu, joten puheenerotettavuus tulee huomioida suunnittelussa. Puheen erotettavuuteen vaikuttaa puheen voimakkuuden lisäksi taustäänitaso, jälkikaiunta sekä absorptiomateriaalien ja heijastavien pintojen sijainti. Puheensiirtoindeksin lukuarvo voi vaihdella 0 ja 1 välillä. Puhetiloissa pyritään korkeaan STI-arvoon, toisin kuin toimistotyöpisteiden välillä, joissa mahdollisimman matala STI-arvo mahdollistaa työhön keskittymisen ja keskustelujen luottamuksellisuuden. Taulukossa 2 on esitetty esimerkkejä STI:stä ja puheen *erotettavuudesta* puhetiloissa. (Kylliäinen & Hongisto 2007: 55–56; Perustelumuuisto 2017: 19)

Taulukko 2. STI puhetiloissa (Kylliäinen & Hongisto 2007: 56).

STI-alue	Puheen erotettavuus	Esimerkkejä tiloista
alle 0,3	kelvoton	-
0,3–0,45	huono	Kivikirkko
0,45–0,6	välttävä	kaikuisa auditorio tai konserttisali
0,6–0,75	hyvä	hyvin suunniteltu suuri auditorio
yli 0,75	erinomainen	hyvin suunniteltu luokkahuone tai pieni auditorio

Taulukossa 3 on esimerkit STI:stä ja puheen *peittävydestä* toimistotyöpisteiden välillä.

Taulukko 3. STI toimistotyötiloissa (Kylliäinen & Hongisto 2007: 56).

STI-alue	Puheen peittävyys	Esimerkkejä tiloista
alle 0,05	täydellinen	hyvin äänieristettyjen huoneiden välillä
0,05–0,2	erittäin hyvä	normaalisti äänieristettyjen huoneiden välillä
0,2–0,4	hyvä	kuten yllä, mutta huoneiden ovet auki käytävälle
0,4–0,55	kohtalainen	avotoimisto, akustisesti hyvin toteutettu
0,55–0,7	välttävä	avotoimisto, akustiikassa pieniä puutteita
0,7–0,85	huono	avotoimisto, akustiikassa merkittäviä puutteita
yli 0,85	ei ole	avotoimisto, ei akustista suunnittelua

2.6 Ääneneristysten määräykset ja ohjeet

2.6.1 Ympäristöministeriön asetus 796/2017

Ympäristöministeriön asetus rakennusten ääniympäristöstä koskee uudis- ja korjauskentamista hankkeissa, jotka on aloitettu 1.1.2018 jälkeen. Sen mukaan rakennuksen ääniympäristöä koskeva olennainen tekninen vaatimus täyttyy, jos rakennuksen ääneneristys, melun- ja värinätorjunta sekä ääniolosuhteet suunnitellaan ja toteutetaan tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen asetuksen mukaisesti. Jos edellä esitettyä menettelyä ei ole tarkoituksenmukaista soveltaa erityisen syyn vuoksi, on rakennushankkeeseen ryhtyvän osoitettava rakennuslupamenettelyn yhteydessä, että suunnittelu johtaa olennaisen teknisen vaatimuksen täyttämiseen. (Asetus 796/2017: 1–3)

Uusien asuinrakennusten ja käyttötarkoitukseltaan vastaavien suunnittelussa tulee noudattaa taulukossa 4 esitettyjä lukuarvoja.

Taulukko 4. Asetus 796/2017 määräykset uuden rakennuksen ääneneristykselle (Asetus 796/2017: 2).

Huonetila	Pienin sallittu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$	Suurin sallittu askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{l, 50-2500}$
Asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä	55	53
Uloskäytävästä asuin-, majoitus- tai potilas-huoneeseen	39	63

Sisäänvedettyjen parvekkeiden, viherhuoneiden ja kattoterassien ääneneristys on suunniteltava ja toteutettava siten, että ääniympäristöstä ei aiheudu asukkaille haittaa. Eri-tyistä huomiota tulee kiinnittää asuntojen tai vastaavien ympärillä oleviin tiloihin, joissa syntyy voimakasta, erityisten häiritsevää tai pienitaajuista ääntä. Lisäksi impulssimaisen, kapeakaistaisen tai pienitaajuisen melun yhden tunnin keskiäänitaso ei saa ylittää nukkumiseen tai lepoon käytettävissä huoneissa 25 desibeliä. Asetuksessa määrätään myös muista asuinrakentamiseen ja akustiikkaan liittyen myös muista mittaluvuista, mutta tässä on esitetty vain välipohjien ääneneristyksen kannalta olennaiset asiat. (Asetus 796/2017: 2)

Korjausrakentamisessa, muutostyössä tai rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksessa ääniolosuhteita ei saa korjaus- ja muutostyössä heikentää. Rakennuksen käyttötarkoitusta muutettaessa rakennuksen ääneneristys-, melun- ja värinäntorjunta ja ääniolosuhteeton suunniteltava ja toteutettava siten, että ääniympäristöstä ei aiheudu käyttäjille haittaa. (Asetus 796/2017: 3)

2.6.2 Asumisterveysasetus 545/2015

Rakennusten ääniympäristön toteuttamisessa tulee huomioida myös asumisterveysasetus, jossa säädetään asuntojen ja muiden oleskelutilojen terveydellisistä olosuhteista. Asetuksessa ei oteta kantaa rakenteilta vaadittaviin ääneneristysarvoihin, vaan tiloihin kuuluviin melutasoihin, joille on annettu toimenpiderajoja. Vuonna 2015 annettu Asumisterveysasetus kumosi vuodesta 2003 voimassa olleen asumisterveysohjeen, jossa oli vielä ääneneristykselle lukuarvoja. Tosin ohjeessa olevien sanamuotojen takia lukuarvot

eivät olleet ehdottomia ja jättivät tulkinnan varaa. (Asumisterveysasetus 2015: 1–4; Asumisterveysohje 2003: 40–41)

Rakennusten ääneneristys ja laitteiden tai toiminnasta aiheutuva melutaso tuleekin yhdessä suunnitella niin etteivät toimenpiderajat ylity. Päiväaikaan yhden tunnin keskiäänitaso ei saa ylittää 35 dB:iä eikä yöllä 30 dB:iä. Lisäksi asetuksessa on annettu muita huomioitavia toimenpiderajoja erityisen häiritseville melutypeille, kuten (esimerkiksi musiikin aiheuttamalle) pienitaajuiselle melulle, kapeakaistaiselle tai impulssimaiselle melulle. (Asumisterveysasetus 2015: 3–4)

2.6.3 Vanhat määräykset

Ääneneristävyyttä koskevat ensimmäiset tekniset lukuarvot julkaistiin vasta vuonna 1967 Suomen rakennusinsinööriliiton ääneneristysnormeissa RIL 55. Ne eivät olleet virallisia määräyksiä, mutta niiden katsottiin edustavan yleensä hyvää rakentamistapaa. Ensimmäiset viralliset määräykset asuntojen ilmaääneneristys- ja askeläänitasoindeksille julkaistiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1-1976. Mittaluvut ja arvot olivat samat kuin RIL 55:ssä. Vuonna 1985 julkaistiin uudempi versio C1:stä, jossa mittaluvut päivitettiin ilmaääneneristys- ja askeläänitasoluvuksi. Ääneneristysvaatimukset pysyivät saman tasoisina. Askeläänen vanha ja uusi lukuarvo poikkesi toisistaan 5 dB:iä, mikä kuitenkin johtui pelkästään laskentatapojen eroista. Vuonna 1998 vaatimukset tiukentuivat ilmaääneneristysluvun osalta arvoon 55 dB ja askeläänitasoluvun osalta arvoon 53 dB. Taulukossa 5 on esitetty eri aikoina vallinneet määräykset. (Kylliäinen & Hongisto 2007: 22; Rakentamismääräyskokoelma C1 1998; Rakentamismääräyskokoelma C1 1985; Rakentamismääräyskokoelma C1 1976; RIL 55b 1971)

Taulukko 5. Vanhat määräykset kerrostaloasuntojen välipohjien ilmaääneneristävyydelle ja askeläänitasolle (Rakentamismääräyskokoelmat C1 1998; Rakentamismääräyskokoelma C1 1985; Rakentamismääräyskokoelma C1 1976; RIL 55b 1971).

Lähde	Ilmaääneneristävyys	Askeläänitaso
C1-1998	$R'_w \geq 55 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$
C1-1985	$R'_w \geq 53 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 58 \text{ dB}$
C1-1976	$I_a \geq 53 \text{ dB}$	$I_l \leq 63 \text{ dB}$
RIL 55 (1967)	$I_a \geq 53 \text{ dB}$	$I_l \leq 63 \text{ dB}$

2.6.4 Ohjearvot, suositukset ja luokitusjärjestelmät

Asetuksessa 796/2017 on annettu lukuarvoina ääneneristysmääräykset vain asunnoille ja vastaaville tiloille. Jotta jokaisessa tilassa olisi käyttötarkoituksen mukainen ääneneristystaso, löytyy sitä varten erilaisia suosituksia, ohjearvoja sekä ympäristösertifiointeihin liittyviä luokitusjärjestelmiä. Asetukseen liittyvässä perustelumuiistiossa (2017: 18) sekä ääniympäristöohjeessa (2018: 22–23) on annettu lisää ohjearvoja koskien mm. opetus-, hoito- ja toimistotiloja sekä huoneakustiikkaa. Taulukossa 6 on esitetty huoneakustiikan ohjearvot.

Taulukko 6. Huoneakustiikan ohjearvot (Perustelumuiistio 2017: 18; Ääniympäristöohje 35–37).

Huonetila	Jälkikaiunta-aika	Puheensiirtoindeksi STI
Opetus- tai kokoustila	0,5–0,7 s	$\geq 0,7$
Ruokailu- tai liikuntatila	$\leq 1,2 \text{ s}$	$\geq 0,6$
Potilashuone, hoito- tai harrastustila	$\leq 0,8 \text{ s}$	$\geq 0,6$
Avoin toimistotila	$\leq 0,6 \text{ s}$	$\leq 0,5$
Toimistohuone	$\leq 0,8 \text{ s}$	-
Rakennuksen porrashuone tai uloskäytävä asuin-, majoitus- tai potilashuonekäytössä	$\leq 1,3 \text{ s}$	-

Rakennusten akustisessa luokituksessa (standardi SFS 5907 2004: 7–21) on esitetty yleisimmille tilatyypeille ohjearvot. Standardissa on annettu uudisrakentamisen vähimmäistason, joka on yleensä perustaso, lisäksi arvoja myös tavanomaista laadukkaammille tiloille ja mahdollistaa sitä kautta akustiikaltaan paremman tasoisen rakennuksen suunnittelun. Sisäilmastoluokituksen (2018: 7–8) luokkien S1...S3 määrittäminen perustuu edellä mainittuun standardiin. Lisäksi ohjearvoja löytyy rakennusinsinööriunionin julkaisemasta RIL-243 kirjasarjan eri osista.

Ympäristösertifiointijärjestelmien käyttö rakennusten suunnittelussa on yleistä. Erilaisia järjestelmiä on useita, mm. LEED, WELL, Breeam, RTS-ympäristöluokitus ja Joutsen-merkki, joiden vaikutus akustiikan suunnitteluun vaihtelee suuresti haettavan laatutason mukaan.

Erilaisten lukuarvojen orjallinen noudattaminen ei yleensä ole tarkoituksenmukaista. Hankkeen tason määrittämisessä kannattaa käyttää harkintaa ja kuunnella kaikkia osapuolia.

2.7 Ääneneristysmittaukset

Suomessa rakennusten ilmajääneristystä ja askeläänitäsoja mitattaneen päivittäin ja vuositasolla tuhansia. Pelkästään FINAS:in (FINAS-akkreditointipalvelu 2020) akkreditointi kenttämittauksiin on tällä hetkellä neljällä yrityksellä. Uudisrakennuksissa yleisin syy mittauksille on rakennusten käyttöönoton yhteydessä tehtävät laadunvarmistusmittaukset, joissa pistekoemaisesti testataan ääneneristyksen kannalta yleisimmät ja mieluiten kriittisimmät tilat. Koko rakennuksen kattavia mittauksia ei ole projektien aikataulujen ja kustannusten takia mahdollista tehdä, koska jokainen yksittäinen mittaus on useamman tunnin tehtävä.

Vanhoissa rakennuksissa mittauksen syyt vaihtelevat enemmän. Mittauksia tehdään esimerkiksi, kun käyttäjä kokee ääneneristyksen riittämättömäksi, jolloin on tarpeen selvittää ääneneristystaso sekä miten sitä voitaisiin tehokkaasti parantaa. Vastaavia mittauksia tehdään peruskorjausten ja -parannusten suunnittelua varten. Korjauksissa on usein tarpeen lähtötilanteen varmistaminen, jotta korjauksen valmistuttua voidaan varmistaa,

ettei tasoa ole ainakaan heikennetty – remontin jälkeen lähtötietomittauksia ei voida luonnollisesti tehdä. Haastavissa tai suurissa projekteissa on hyödyllistä rakentaa välipohjasta mallirakenne vanhaan rakennukseen, ja tutkia useassa eri vaiheessa tehtävien mittausten avulla kohteeseen parhaiten soveltuvia korjausvaihtoehtoja. Resurssien säästämiseksi riittää usein muutaman pääperiaatteen mittaaminen, ja varsinkin pienet rakennemuutokset niihin voidaan arvioida laskennallisesti. Mallihuonemittausten ja laskentojen avulla saadaan paras arvio ääneneristystasosta valmiissa rakennuksessa varsinkin, jos ympäröiviin rakenteisiin ja sivutiesiirtymiin ei ole tulossa suuria muutoksia. Kevyimmillään mittaaminen on eri lattiapintavaihtoehtojen pienen mallipalan koputtamista askeläänikojeella. Mallirakenteiden testaaminen ei ole kuitenkaan kaikissa projekteissa mahdollista aikataulun, kustannusten tms. syyn takia.

Ilmaääneneristävyys mitataan standardien (SFS-EN ISO 16283-1 2014; SFS-EN ISO 3382-2 2018) mukaisesti. Hyvin lyhyesti tiivistettynä lähetystilaan tuotetaan kaiuttimella laajakaistaista kohinaa, ja äänenpainetasot mitataan useassa kohtaa lähetys- ja vastaanottohuoneessa. Vastaanottohuoneessa mitataan lisäksi taustäänitaso sekä huonevaimennuksen huomioimiseksi jälkikaiunta-aika.

Askeläänitasoluvun mittaus tehdään standardin (SFS-EN ISO 16283-2 2018) mukaan koputtamalla lähetystilan lattiaa standardoidulla askeläänikojeella, ja mittaamalla vastaanottohuoneessa äänenpainetasot, taustäänitasot sekä jälkikaiunta. Lopuksi mittaus tuloksista ja huonedimensioista lasketaan standardin (SFS-EN ISO 717-2 2013) mukaiset mittaluvut $D_{n,T,w}$ ja $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$.

3 Korjausperiaatteet

3.1 Tavoitteet

Luvussa 2.6 on käyty läpi rakennusten korjausta koskevat määräykset. Määräysten täyttymistä edesauttaa muutaman perusasian pitäminen mielessä. Äänikirjassa (1991: 117) tavoitteet on tiivistetty seuraavasti:

Korjausrakentamisella ei saa ainakaan huonontaa olemassa olevaa eristävyttä.

Korjausrakentamisella pyritään parantamaan etenkin heikoimpien rakenteiden eristävyttä.

Korjausrakentamisessakin pyritään saavuttamaan voimassa olevien määräysten edellyttämä taso, jos vain sopivia keinoja on käytettävissä.

Ainakin uudet rakenteet tulisi valita siten, että ne vastaavat vaatimuksia.

Jos rakennuksen käyttötarkoitus muuttuu olennaisesti, vaatimuksia on syytä soveltaa tiukemmin, jotta tyydyttävät ääniolosuhteet saavutetaan.

Ääneneristysten korjausta suunniteltaessa on hyvä pitää mielessä, että ääneneristystason muutos vaikuttaa käytännössä seuraavasti (RIL 174-4 1998: 286):

- 1–2 dB tuskin havaittava muutos
- 3–4 dB havaittava muutos
- 5–6 dB selvästi havaittava, olennainen muutos
- 7–8 dB suuri muutos
- yli 10 dB hyvin suuri muutos.

Korjaustoimenpiteiden mitoittamaksi on esitetty karkea jako kolmeen ryhmään, jos vanhan rakennuksen ääniolosuhteet tunnetaan (RIL 174-4 1998: 289):

- Jos nykyvaatimukset täyttyvät, riittää ettei korjauksessa heikennetä ääniolosuhteita.
- Jos määräykset alittuvat vähäisesti, ja korjaaminen tuottaa liikaa vaikeuksia, voidaan eristävyden parantamisesta luopua.
- Jos eristävydet ovat hyvin heikkoja, valitaan korjaustavat, joilla eristävyttä voidaan parantaa.

3.2 Ilmaääneneristävyys

Ilmaääneneristys eli puheen, musiikin, koiran haukunnan tai muun ilmassa kulkevan (ilma)ääneneristävyyttä parannusta suunniteltaessa voidaan keinot jakaa kahteen pääluokkaan, rakenteen massan lisäämiseen valumassoilla tai rakennuslevyillä sekä kaks- tai monikerrosrakenteeseen, jossa vähintään kahden rakennekerroksen välissä on kaviteetti eli

ilmatila. Rakenteen massan lisääminen voi yksinkertaisimmillaan tarkoittaa lisäkipsilevykerrosten ruuvaamista lattiaan tai kelluvan lattian massan paksuntamista, jos kyseessä on kevytrakenteinen välipohja. Massiivisten betonirakenteiden massan lisääminen entistään on usein tehoton keino, koska massalain mukaan ääneneristys kasvaa parhaimmillaan 6 desibeliä kokonaismassan kaksinkertaistuessa (Kylliäinen & Hongisto 2007: 84). Betonivälipohjan ääneneristävyttä voi parantaa sen alle asennettavalla lisärakenteella eli esimerkiksi puukoolauksen ja ilmatilan mineraalivillatäytön muodostamasta kavitatiotilasta sekä pintaan asennetuista kipsilevykerroksista, jolloin välipohjasta muodostuu kaksikerrosrakenne.

Rakenteen massan lisääminen voi korjattavan rakenteen mukaan olla yksinkertaista levykerrosten lisäämistä olevan (ts. vanhan) pinnan päälle, tai monimutkaista tarkoittaen useampaa muutosta lattia- ja kattopintoihin sekä kantavien palkkirakenteiden väli- tai ontelotiloihin. Massalisäyksenä voidaan käyttää muun muassa tavallisia rakennuslevyjä (normaalit-, erikoiskovat- ja lattiakipsilevyt, lastulevy-, vaneri- ja OSB-levyt, sementtikuitulevyt, tuulensuojalevyt), painavia erikoislevyjä (Gyproc GR, Habito ja Rigidur, Halton Fermacell, Knauf EK RX, Silent-, Ultra- ja Safeboard ja Vidiwall), valettavia betoni-, kuitu- ja kipsimassoja sekä rappauksia tai kiviaineksia (hiekkaa, soraa, kevytsorabetonisoraa, vaahtolasimursketta, hiekkapahvilevyjä). Levykerroksia käytettäessä tulee ne asentaa ruuvaamalla, koska liimaaminen pudottaa rakennekerrosten koincidenssiajua ja heikentää ääneneristävyttä. Rakennuslevyjen paksuus on yleensä suunniteltu levyn koincidenssin ja ääneneristuksen kannalta optimaaliselle alueelle.

Kaksi- tai monikerrosrakenteen ääneneristys perustuu kahteen tai useampaan materiaalikerrokseen, joiden välissä on ilmatila, joka on parhaimmillaan täytetty ääntä vaimentavalla materiaalilla. Vaimennetun ilmapälin avulla voidaan saada hyvä ääneneristys kevyitä materiaaleja käyttäen; hyvä esimerkki tästä on tyypillinen puurunkoisen asuinrakennuksen asuntojen välinen seinä, jossa 55 dB ilmaääneneristys saavutetaan yhteensä neljällä kipsilevyllä, toisistaan irti olevilla pystyrungoilla sekä mineraalivillalla täytetyllä ilmapälinällä. Koko rakenteen pintamassa seinäneliötä kohden on noin kymmenesosa ääneneristykseltään vastaavan tasoiseen betoniseinään verrattuna. Välipohjissa ei ihan samaan suhdeluukuun päästäne kantavuussyistä, mutta sama periaate pätee. Ratkaisussa on oleellista materiaalikerrosten välisen kytkennän katkaiseminen, jotta

materiaalissa oleva värähtely vaimenisi mahdollisimman tehokkaasti edetessään puoliskosta toiseen. Parhaassa tapauksessa puoliskojen välissä ei ole minkäänlaista kytkentää, vaan puoliskot ovat pelkästään reunoilta tuettuna. Yleensä kuitenkin tarvitaan tukia puoliskojen välillä, ja seuraavaksi paras vaihtoehto on käyttää jousi-, kumi- tai elastomeeri-kannakkeita tai kokopinta-asenteisia askeläänieristeitä, jotka eristävät värähtelyä.

Tiivistettynä kytkettyjen välipohjarakenteiden ääneneristävyyttä on tehokkainta parantaa seuraavin tavoin (Kylliäinen & Hongisto 2007: 75):

- vähentämällä kytkentöjen eli palkkien tai koolauksen määrää
- lisäämällä kytkentöjen joustavuutta
- heikentämällä levyjen kiinnitystä palkkeihin joko vähentämällä ruuvien määrää tai pienentämällä ruuvauksen kireyttä.

Edellisten lisäksi ääneneristävyyttä voi parantaa seuraavasti, mutta näiden vaikutus voi olla pieni tai lähes olematon, jos yllä mainitut kohdat eivät ole kunnossa (Kylliäinen & Hongisto 2007: 75):

- kokonaismassan kasvattaminen
- ilmapälin paksuuden kasvattaminen
- ilmapälin absorptiomateriaalin määrän kasvattaminen.

Välipohjien korjauksissa voi korjausasteen mukaan joutua suunnittelemaan monikerrosrakenteita, jolloin välipohjan kaikkien kerrosten tunteminen on olennaista, eikä voi tuudittautua pelkästään hyvän lisäeristuksen suunnitteluun.

3.3 Askeläänitaso

Askeläänitasolla kuvataan kuinka voimakkaasti lattiapintaan aiheutuvat iskut kuuluvat toiseen tilaan. Yleensä melulähteenä on askelten kopina tai töminä, kalusteiden siirtely ja esineiden putoaminen. Kuten luvussa 2.3 esitettiin, askeläänitaso kuvaa ilmiön voimakkuutta, eli mitä pienempi askeläänitaso(arvo) sitä vaimeammin melu kuuluu. Mikäli käytetään termiä askelääneneristävyys, kuvataan sillä sanallisesti rakenteen ääneneristävyyttä. Hyvä askelääneneristävyys tarkoittaa, ettei melu kuulu voimakkaasti. Ehkä

ymmärrettävin tapa olisi käyttää terminä aina askelääneneristävyttä ilmaääneneristävyyden tapaan, mutta mittausmetodiikan tarvitaan myös askeläänitaso. Termejä ei tule sekoittaa toisiinsa.

Askeläänitason merkittävimpänä tekijänä on pintamateriaali ja kuinka hyvin se on vaimennettu asennuspinnastaan. Parhaita ovat paksupohjaiset kokolattiamatot tai pehmeäpohjaiset muovimatot. Asunnoissa yleisin tyyppi lienee lautaparketti tai laminaatti, jonka alla käytetään askeläänieristeenä yleensä parin-kolmen millin paksuista solumuovikerrosta (esimerkiksi Tuplex), jolloin pinnan vaikutus yksiaineisissa betonivälissä on hyvin suuri, jopa 18 dB. Tällaista yhdistelmää kutsutaan myös kelluvaksi lattiapintamateriaaliksi, koska pintakerros ikään kuin ui solumuovikerroksen päällä eikä sitä asenneta mekaanisesti ruuvaamalla tai naulaamalla eikä liimaamalla. Kelluvaa pintamateriaalia ei tule sekoittaa kelluvaan lattiaan.

Tehokkain keino askeläänien eristämiseen on kantavan välipohjarakenteen päälle asennettu kelluva lattia, jonka kanssa voidaan yleensä valita pintamateriaalit vapaasti. Kelluvan lattian joustava eriste ja rakennekerrokset vaimentavat askelääniä pintamateriaaleja tehokkaammin, joten kun pintamateriaali asennetaan askelääniä eristävän (esimerkiksi vesikiertoisien lattialämmitysjärjestelmän valumassan) pinnan päälle, ei pintamateriaalin askelääneneristysominaisuuksilla ole juurikaan merkitystä. Solumuovikerros laitetaan kuitenkin yleensä lautaparketin tai laminaatin väliin helpottamaan asennusta, vaikka askelääneneristävyyden takia sitä ei tarvittaisi.

Jotta kelluva lattia toimii edellä mainitulla tavalla, tulee sen olla reunoiltaan irti kaikista ympäröivistä rakenteista ja talotekniikan putki- ym. asennuksista. Saumat voi täyttää pehmeällä väljästi asennetulla mineraalivillalla tai solumuovilla sekä elastisella massalla. Askelääneneristys romahtaa, mikäli esimerkiksi kelluva laattarakenne on edes vähäisessä määrin valettu suoraan seinään kiinni, tai saumat täytetty rakenteet jäykästi yhdistävällä turpoavalla polyuretaanimassalla. Oikein tehdyn suunnitellun lisäksi asennuksessa tulee olla erityisen huolellinen. Yleisimpiä asennusvirheitä on listattu alla (Isover 2020):

- Pintalaatan alle jää kiinteä kappale, joka kytkee sen kantavaan rakenteeseen.

- Pintalaatan valusuoja on vioittunut, ja valettava massa pääsee joustavaan kerrokseen ja joustavan kerroksen saumoista massa kiinnittyy kantavaan rakenteeseen.
- Irrotuskaista on jäänyt kokonaan pois tai siirtynyt valun aikana paikaltaan (irrotuskaistan ja valusuojan sauma tulee teipata tai valusuoja nostaa reunoilta ylös jättäen irrotuskaista valusuojan taakse).
- Kelluva lattiarakenne kiinni lävistävissä rakenteissa. (Putken ympärille asennettua mineraalivilla- tai solumuovikaistaa on vaikea teipata tiiviisti kiinni valusuojaan. Läpimenoissa voidaankin käyttää tarkoitukseen suunnitelluilla irrotuskappaleilla).
- Kelluvaa lattia kiinnittyy kynnyksen kautta rakennuksen runkoon. (Kynnys tulee kiinnittää vain kelluvaan pintarakenteeseen tai kynnys halkaistava, ja sauma tiivistettävä kitillä.)
- Jalkalistat kiilaavat kelluvaa lattiarakennetta alaspäin. (Kunnolla toimivassa kelluvassa lattiassa jalkalistat ovat vähintään 1 mm irti lattiasta.)
- Lautaparketti kiinni reunoilta tai patteriputkissa.
- Laatta- tai kivimateriaalien reuna-alueilla laasti kytkee pintamateriaalin rakennuksen seiniin.
- Levyrakenteisilla kelluvilla lattiarakenteilla joustavan kerroksen ja levyrakenteen on kestävä kuormitus ja reuna-alueilla voidaan käyttää lujempia tuotteita.

Askelääneneristävyyttä voidaan parantaa myös alaslaskettavalla kattorakenteella. Ratkaisu ei ole tehokas, koska se vain vaimentaa välipohjasta alaspäin säteilemää ääntä, mutta ei auta seiniin sivutiesiirtymänä siirtyvään ja ilmaääneksi säteilemään ääneen. Ratkaisu voi olla kuitenkin helpoiten toteuttavissa oleva, ja joskus riittävä.

Välipohjakorjausten myötä rakenteesta tulee (ellei jo alun perin ollut) yleensä kaksi- tai monikerrosrakenne. Korjaustavan tehokkuuteen vaikuttavat pintamateriaalin lisäksi muut periaatteet, jotka on esitetty ilmaääneneristävyydelle luvun 3.2.1 lopussa.

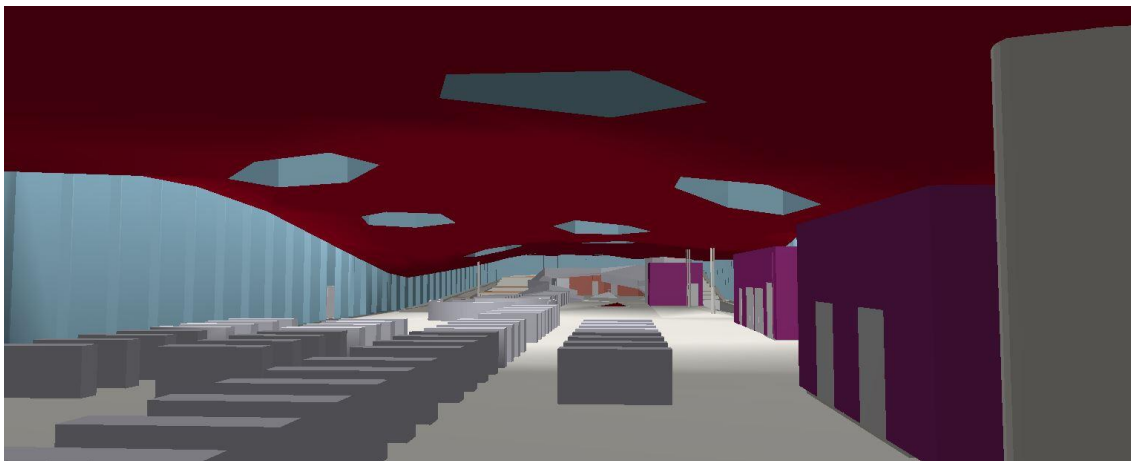
3.4 Huoneakustiikka

Välipohjan katto- ja lattiapintamateriaalit muodostavat suuren osan huonetilan pintojen pinta-alasta, ja siksi niillä on iso vaikutus huoneakustiikan olosuhteisiin. Asunnoissa riittää usein normaali kalustus, mutta korkeissa avotiloissa tulisi pintoihin kiinnittää erityistä huomiota tai käyttää vaimentavia sisustusratkaisuja, kuten paksuja verhoja, mattoja tai

muhkeita huonekaluja. Lattian pintamateriaalista ainoastaan tekstiili- tai irtomatoilla on mainittavia äänenabsorptio-ominaisuuksia, kun taas laatta-, parketti-, laminaatti tai muovipinnoitteiden pinta on niin kova, että ne ovat käytännössä ääntä kokonaan heijastavia. Lattiamatot vaimentavat pääosin korkeita taajuuksia ja niitäkin keskinertaisesti, koska ne ovat ohuita ja niiden taustalla on kova ja tiivis rakenne.

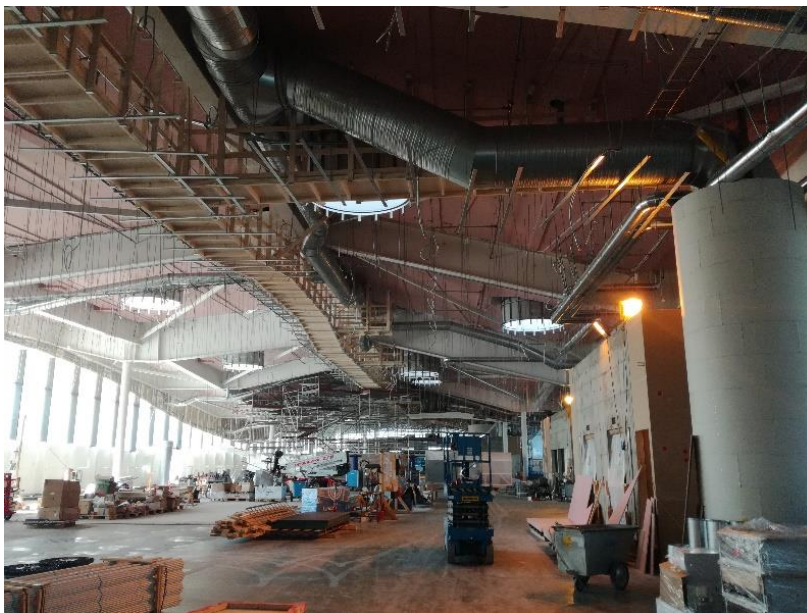
Katon pintamateriaali on sen sijaan yleensä käytettävissä huonevaimennusta varten, talotekniikan asennusten viemää vähäistä pinta-alaa lukuun ottamatta. Mikäli välipohjassa on levyverhottu alaslaskettu katto, voidaan se huomioida jälkikaiunta-ajan laskennassa pieniä taajuuksia hieman vaimentavana bassovaimentimena. Lyhyen jälkikaiunta-ajan saavuttamiseksi tulisi mahdollisimman suuri osa heijastavasta kattopinnasta peittää tehokkaasti vaimentavilla akustiikkalevyillä tai vastaavilla. Parhaaseen absorptioluokkaan A pääsee useimmilla 40 mm paksuilla akustiikkavillalevyillä suoraan kovaa taustaa vasten asennettuna tai 20 mm paksuilla akustiikkavillalevyillä, jos ne on ripustettu 200 mm:n alaslaskulla katosta. Puhe-, kokous- tai esiintymistiloissa, jossa äänen pitäisi kantautua pitkälle ilman äänenvahvistusta, tulee pintamateriaalit ja niiden sijoitus harkita tarkkaan, jottei ääni vaimene liikaa ja äänen erotettavuus kärsi.

Välipohjakorjausten huoneakustiikkaa tulisi tarkastella vähintäänkin tilan jälkikaiunta-ajan kannalta, jonka arvioiminen onnistuu usein jo materiaalivaihtoehtojen akustisia ominaisuuksia vertailemalla tai melko yksinkertaisella laskentataulukolla tehdyn mallin avulla. Mikäli tila on suuri, monimuotoinen, absorptiomateriaali jakaantuu epätasaisesti tilaan, vaatimustaso on korkea tai on tarpeen selvittää joko puheenpeittävyyttä tai -erotettavuutta, tarvitaan usein tarkempaa laskentaa. Tällöin suunnittelussa kannattaa käyttää kaupallista geometrisen huoneakustiikan mallinnusohjelmaa, kuten ODEON, CATT-acoustic tai EASE, joita on kehitetty 1990-luvulta lähtien (Savioja & Svensson 2015: 710). Kuvassa 17 on ODEON-ohjelmalla mallinnettu Helsingin keskustakirjasto Oodin kolmannen kerroksen aulatila.



Kuva 17. ODEON-mallinnus (Korhonen 2016).

Kuvassa 18 on esitetty sama tila valokuvattuna työmaa-aikana.



Kuva 18. ODEON-mallinnetun tila työmaa-aikana valokuvattuna (Korhonen 2018).

3.5 Akustiikan lisäksi huomioitavat asiat

Välipohjan korjaustavan valintaa ei voi tietenkään tehdä pelkän ääneneristysten perusteella, vaan se on vain yksi huomioitavista asioista mm. rakenteiden kantavuuden,

lämpö- ja kosteustekniikan, palonkeston, detaljiiikan, korkomaailman, työteknisen toteuttavuuden, suojelunäkökohtien, kustannusten, muuntojoustavuuden ja aikataulun ohella.

3.5.1 Kantavuus

Välipohjissa olevat kantavuuteen vaikuttavat vauriot tulee korjata, mutta usein jo alkuperäisen ehjän rakenneratkaisun kantavuus on mitoitettu niin tiukaksi, ettei se salli rakenteen muiden ominaisuuden parantamisen vaatimaa lisäkuormitusta. Tämä tuottaa usein ongelmia ääneneristävyyden parantamisessa, koska massan lisäys on yksi parhaista ääneneristyskeinoista. Yksi vaihtoehto on vahvistaa rakenteita, ja sitä kautta sallia lisää kuormitusta, mutta keino on usein kallis. Onneksi käyttötarkoituksen muutoksissa akustiikan kannalta vaativimmat tilat ovat usein asuntoja tai luottamuksellisia toimistotiloja, joissa tilojen kalustuksen massa on vanhaa käyttötarkoitusta pienempi. Toki poikkeuksiakin on. Pääsääntöisesti korjaukset tulee tehdä siten, että rakenteen kokonaismassa pysyy entisellään, mutta materiaaleja ja niiden sijoituspaikkaa vaihtamalla äänitekniikan kannalta edullisemmin saavutetaan parempi taso.

3.5.2 Lämpö- ja kosteustekniikka

Välipohjan kosteus- ja mikrobivauriot voivat olla suoraan seurausta välipohjan tai sen liittymädetaljiiikan lämpö- ja kosteusteknisestä toimimattomuudesta. Tällöin pelkän vaurioiden korjausten lisäksi pitää korjata vaurioiden aiheuttaja, ja muuttaa rakennetta. Käyttötarkoituksen muutoksissa myös muuttuvat olosuhteet pitää ottaa huomioon. Kosteus- ja mikrobivaurioiden korjaustapa voikin pitkälti rajata ääneneristyskorjauksen keinoja. Molempien näkökulmien yhteensovitus on tärkeää, jotta paras mahdollinen lopputulos saavutetaan. Esimerkiksi välipohjan muottilauta- ja muun täytteen poistamisen takia rakennetta joudutaan purkamaan ylä- tai alakautta, jolloin valitun reitin uudelleenrakentamisen yhteydessä on edullista tehdä samalla ääneneristyksen parannukset. Välipohjien kosteus- ja mikrobikorjauksista löytyy hyödyllinen opas (Ympäristöministeriön julkaisuja 2019: 212–231) lisätietoja varten.

3.5.3 Palotekniikka

Rakennusten paloturvallisuus ja välipohjarakenteiden palonsuojaus tulee korjauksissa huomioida. Esimerkiksi kattorakenteiden suojaus ja ääneneristysalakatto saatetaan pysyvästi hoitamaan samoilla palokipsilevyillä, jolloin ääneneristyskorjaus voidaan saada samalla mitättömin lisäkustannuksin. Palotekniikan ja akustiikan yhteensovituksen kannalta merkittävimpiä riskipaikkoja on kuitenkin talotekniikan läpivientien sekä rakenneliitosten palokatko- ja paloteknisesti toimivista ratkaisuista, kuten paisuva palolouretaan, palovillalevyt tai paisuvat tiivisteet, voivat olla ääneneristyksen kannalta surkeitä. Olennaista on myös huomioida läpivientien määrä ja palokatkon viemä pinta-ala. Yksittäisen läpiviennin aiheuttama heikennys voi olla vielä siedettävä, mutta kertautuessaan vaikutus on suuri.

3.5.4 Korko ja suojele

Yksi merkittävistä korjaussuunnittelua rajaavista asioista on korkomaailma sekä suojele. Koska porraskäytäviin ja hisseihin ei usein tarvitse tehdä teknisesti muutoksia, niin muita lattioita ei voi korjauksen yhteydessä juurikaan nostaa niiden suhteen. Porraskäytävätasanteiden nosto muuttaisi ensimmäisten porraskäytävien nousua hankalaksi, ja ylimääräisten tasojen teko porraskäytävälle on vaikeaa tilojen pienenä takia. Muutoksesta aiheutuisi ongelmia esteettömyyden, poistumisteiden ja yleisen käytettävyyden kannalta, korjausalueen laajentumisen lisäksi. Poikkeuksena mainittakoon ullakkorakentaminen, kun kaikki tilat ovat uusia. Arvokohteissa porraskäytävien pinnat voivat myös olla suojeleja, mikä estää korotukset. Vanhojen rakennusten lattiat eivät välttämättä ole tasaisia, vaan koroissa voi olla useamman senttimetrin eroja rakennuksen eri päissä. Korjausta suunniteltaessa pitää valita sellainen joko ratkaisu, jolla alustan erot saadaan korjattua ja lattia suoritettua tai sitten ratkaisu, jolla lattian saa jätettyä ennalleen kaltevaksi, mutta riittävän tasaiseksi pintamateriaalia varten.

Huonekorkeuden alentaminen kattopintaan tehtävällä ääntäeristävällä alakatolla on usein toteuttamiskelpoista. Katon laskeminen voi kuitenkin olla mahdotonta, jos huonekorkeus on entisestään hyvin matala, kattopinnat ovat niin arvokkaita ja suojeleja, että

ne tulee jättää näkyviin, tai avautuvat ikkunat ulottuvat kattoon saakka. Jos vielä julkisivu on suojeltu, niin ikkunoita ei edes voi uusia matalammaksi.

3.5.5 Muuntojoustavuus

Kestävässä korjausrakentamisessa pitää huomioida tilojen monikäyttöisyys, muunneltavuus, laajennettavuus ja purettavuus. Esimerkkeinä mainittakoon toimistojen otsapintavaraukset paitsi yksittäisten avotoimistotilojen muuttamiseksi työhuoneiksi, niin myös kokonaisille käytävälinoille, jotta huoneiden syvyyttä ja huonemäärää voi myöhemmin helposti muuttaa. Katto- ja lattiapintakerrosten ääneneristys tulisi olla hyvä, jotta sivutiesiirtymät kevyitä pintoja pitkin sivuttain eivät aiheuttaisi suuria ongelmia äänieristettyjen tilojen jälkirakentamiselle. Asuinrakennuksissa muuntojoustavuudella voidaan helpottaa asuntojen yhdistämisiä tai jakamisia, yksittäisiä tilamuutoksia hotelli- tai toimistokäyttöön. Muuntojoustavuuden avulla rakennuksen elinkaari pitenee ja käyttöaste saadaan säilytettyä korkeana ilman suuria muutuskustannuksia.

3.5.6 Toteutus

Suunnittelun lisäksi olennaista on itse korjaustyön suoritus, ja siihen liittyen työmenetelmät, aikataulu ja kustannukset. Hyvä suunnitelma sisältää helpoimman rakennetyypipiirustuksen lisäksi tarvittavat detaljit siten, että työn suoritusjärjestys on huomioitu ja suunnitelman rakentaminen ylipäättään mahdollista. Suunnitteluvaiheessa ei välttämättä ole tiedossa urakoitsija tai sen kokemusta erilaisista ratkaisuista. Nyrkkisääntönä voineekin pitää, että rakenne olisi mahdollisimman yksinkertainen ja koostuisi yleisesti saatavilla olevista materiaaleista turhien ongelmien välttämiseksi. Toisaalta älykkäät kohteeseen sopivat ratkaisut voivat tuoda suuria säästöjä, nopeuttaa aikataulua tai parempia ääniolosuhteita.

4 Vanhojen välipohjarakenteiden ääneneristys

4.1 Yleistä

Tässä luvussa pyritään käymään läpi vanhoja välipohjatyyppisiä siten, että esitetään lyhyt kuvaus rakenteesta, kirjallisuuden, kenttämittaustulosten tai laskennan perusteella rakenteen nykyinen tai eri korjausvaihtoehdoilla saavutettava ääneneristystaso, sekä mitoituksen epävarmuustekijöitä ja muita mahdollisia erityispiirteitä. Vanhan rakennuksen ääneneristysominaisuuksia voidaan arvioida kirjallisuuden perusteella, laskemalla tai mittaamalla. Vanhassa rakennuksessa tarkoin arviointitapa on aina mittaus, sillä vanhoista rakenteista, rakennustavoista, rakennusvirheistä ja kulumista on yleensä mahdoton saada täsmällistä tietoa. Mittaamisen etu on myös se, ettei se edellytä rakennusavauksia. Luvussa ei käsitellä vanhan välipohjan purkamista ja korvaamista kokonaan uudella, tai vanhan aukon kohdalle tehtäviä uusia välipohjarakenteita. Mainittakoon niistä kuitenkin, että uusilla rakenteilla ei välttämättä päästä samaan normaaliin tasoon mitä uudisrakentamisessa vanhan rakennuksen sivutiesiirtymien takia.

Korjausvaihtoehdoissa lähtökohtana on aina tavanomaisten askelääniä vaimentavien pintamateriaalien käyttö, mikäli erikseen ei ole muuta mainittu.

Kirjallisuudessa esitetyt ääneneristysarvot ovat pystysuuntaiselle ääneneristävyydelle rakennuksessa. Arvot tarkoittavat, että rakenne soveltuu yleensä esitetyn tason saavuttamiseen hyvin suunnitellussa ja toteutetussa rakennusajalle tyypillisessä rakennekokonaisuudessa. Sivutiesiirtymistä riippuen saavutettava arvo voi todellisuudessa olla esitettyä pienempi tai suurempi. Lisäksi itse välipohjarakenteen todelliset ääneneristysarvot riippuvat materiaaliominaisuuksista ja -paksuuksista ja toteutustavasta. Vanhoissa rakenteissa tulee rakenneavausten yhteydessä vastaan usein yllätyksiä.

Kirjallisuuslähteissä esitetyt ääneneristävyydet on tässä selvyiden vuoksi muutettu uudempiä mittalukuja vastaaviksi ja esitetty uusilla mittaluvuilla, kun se on ollut mahdollista. Ilmaääneneristysindeksi I_a vastaa ilmaääneneristyslukua R'_w ja ilmaääneneristysluku R'_w nykyistä äänitasoerolukua $D_{nT,w}$. Askeläänitasoindeksi I_i vastaa 5 dB:n vähennyksen jälkeen askeläänitasolukua $L'_{n,w}$. Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ (normalisoitu) vastaa

askeläänitasoalukua $L'_{nT,w}$ (standardisoitu). Sen sijaan vanhoja askeläänien mittalukuja ei voida suoraan verrata nykyiseen spektripainotettuun askeläänitasolukuun $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$, koska mitattavaa taajuusaluetta on muutettu. Esimerkiksi kelluvien lattioiden tapauksissa askeläänien mittalukujen ero voi olla 10 desibeliä tai enemmän.

Edellä mainitut vastaavuudet ovat yleistyksiä ja pätevät suurimmassa osassa tapauksissa. Poikkeustapauksissa voi siis olla eroja mittalukujen välillä. Esimerkiksi huonekorkeudeltaan matalissa (n. 2,5 m) huoneissa tulisi esitetyjä arvoja heikentää 1 dB verran ja yli 4 metrin tiloissa parantaa 1 dB tai enemmän. Osasta kirjallisuuslähteiden ääneneristysarvoista on lisäksi nähtävistä, että ne on ilmoitettu vallitsevan määräystason mukaan ja alakanttiin siihen nähden mihin niillä olisi mahdollista päästä. (RIL 55b. 1971: 9–10; RIL 174-4 1988: 287–288; Takala 2013: 23)

Luvussa esitetyt rakenteiden kenttämittaustulokset perustuvat Helimäki Akustikot Oy:n mittausdataan viime vuosien varrelta.

4.2 Kirjallisuuslähteet

4.2.1 Ylälaattapalkisto

Ylälaattapalkistolla tarkoitetaan yhtenäistä betonirakennetta, jossa yleensä vähintään 80 mm paksua betonilaattaa ja sen päällä olevaa pintavalua tukee alapuolelle ulottuvat betonipalkit. Kun tutkitaan korjaustapoja, joilla välipohjarakenteiden akustista suorituskykyä pyritään parantamaan, samaan kategoriaan voidaan niputtaa ylälaattapalkisto sekä ripaeli TT-laatta, joissa on kokopintainen betonilaatta ja harvat betonipalkit – lattiapinta-alaa kohdin katsottuna laatan osuus on suuri palkistoon verrattuna. TT- ja ripalaattojen kirjallisuudessa esitetyt ääneneristysarvot on esitetty seuraavissa luvuissa. Myös kupulaatta on käsitelty erikseen, koska tiheän ristipalkiston myötä rakenteen massa on muita ylälaattamaisia rakenteita merkittävästi suurempi.

Ylälaattapalkisto oli käytössä 1930–1960-luvulla toimisto- ja liikerakennuksissa, tuotantolaitoksissa, varastoissa sekä ainakin 50- ja 60-lukujen koulurakennuksissa, joissa tosin saattoi ääneneristyksen takia olla lisäksi eristekerroksen päälle valettu pintalattia.

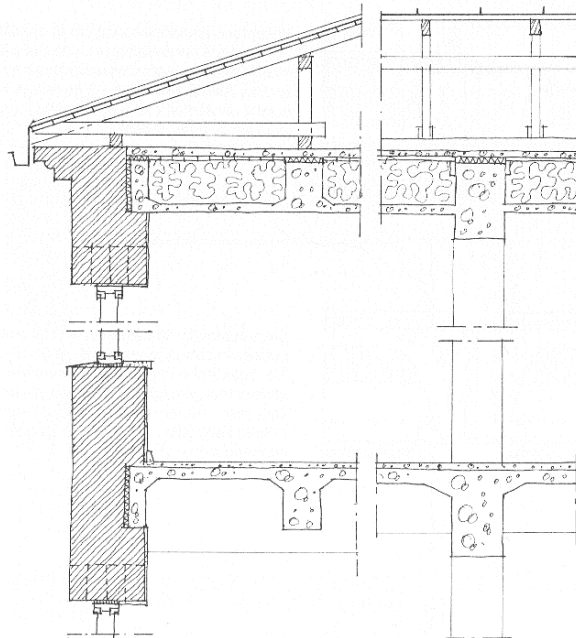
(Halme & Halme-Salo 2003: 201; Suonketo & Annila 2017a: 3; Suonketo & Annila 2017b: 3; Gyproc Käsikirja 2018: 340)

Kuvassa 19 on esitetty Lauttakylän koulun ylälaattapalkisto.



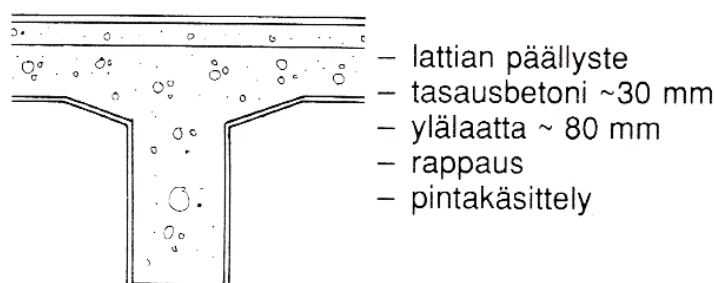
Kuva 19. Ylälaattapalkisto (Suonketo & Annila 2017a: 4).

Kuvassa 20 näkyy pintavalulla päällystetyn ylälaattapalkiston leikkauspiirustus.



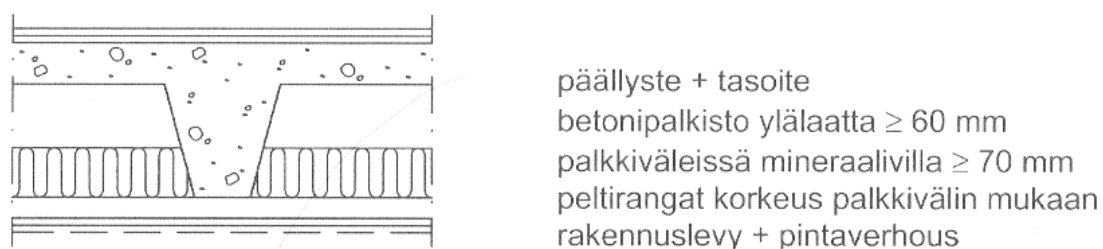
Kuva 20. Ylälaattapalkiston leikkauspiirustus (Halme & Halme-Salo 2003: 204).

Kuvassa 21 esitetylle, 110 mm paksuiselle ylälaatalle on annettu äänitasoeroluvuksi (ilmaääneneristävyydeksi) $D_{nT,w}$ 44–48 dB ja askeläänitasoluvuksi $L'_{nT,w}$ 60 dB, kun pintamateriaalina on pehmeäpohjainen lattianpäällyste (Äänikirja 1991: 121).



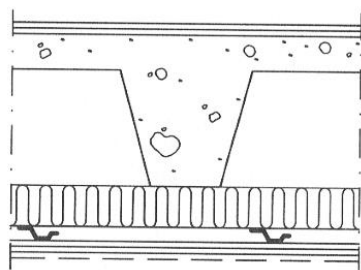
Kuva 21. Rakennetyyppi ylälaatasta (Äänikirja 1991: 121).

Kuvassa 22 on 60 mm ylälaatan ja alapuolelta suoraan teräsrangan varaan levytetyn ylälaattapalkiston rakennetyyppi, jonka äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ on 52 dB (Halme & Halme-Salo 2003: 40).



Kuva 22. Äänieristetty ylälaattapalkisto (Halme & Halme-Salo 2003: 40).

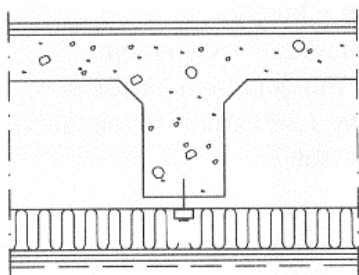
Kuvassa 23 on 60 mm ylälaatan ja alapuolelta akustisen jousirangan varaan tuplalevytetyn ylälaattapalkiston rakennetyyppi, jonka äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ on 55 dB (Halme & Halme-Salo 2003: 26).



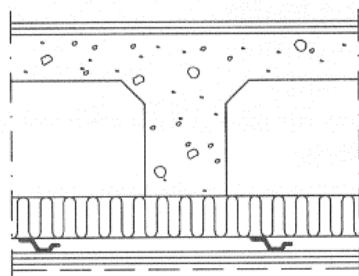
päällyste + tasoite
 betonipalkisto ylälaatta ≥ 60 mm
 ≥ 65 mm runko k 600 mm + mineraalivilla
 25 mm akustinen jousiranka k 400 mm
 2 x rakennuslevyt + pintaverhous

Kuva 23. Äänieristetty ylälaattapalkisto (Halme & Halme-Salo 2003: 26).

Yli 60 dB ilmaääneneristävyyden saavuttaminen edellyttää vähintään 80 mm ylälaattaa sekä joustavasti ripustettua tuplalevytystä, joiden rakennetyypit esitetty kuvassa 24 (Halme & Halme-Salo 2003: 32).



päällyste + tasoite
 betonipalkisto ylälaatta ≥ 80 mm
 joustavasti ripustettu runko
 korkeus palkkivälin mukaan +
 mineraalivilla ≥ 70 mm
 2 x rakennuslevyt + pintaverhous



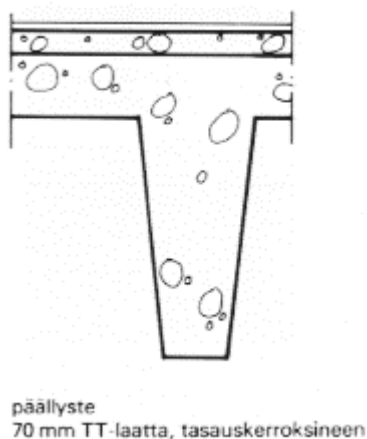
päällyste + tasoite
 betonipalkisto ylälaatta ≥ 80 mm
 runko k 600 mm
 korkeus palkkivälin mukaan +
 mineraalivilla ≥ 70 mm
 25 mm akustinen jousiranka k 400 mm
 2 x rakennuslevyt + pintaverhous

Kuva 24. Äänieristetyt ylälaattapalkistot (Halme & Halme-Salo 2003: 32).

4.2.2 TT-laatta

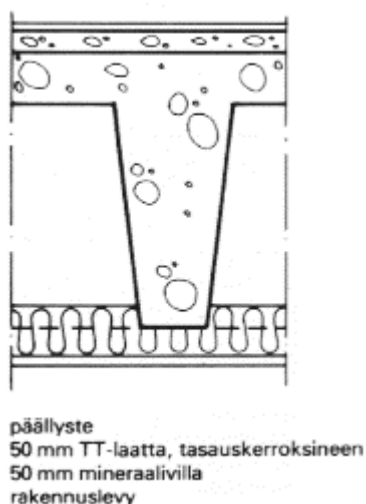
Tässä ja seuraavassa luvussa esitetään lyhyesti TT- ja ripalaatan ääneneristysarvoja kirjallisuudesta. Rakenteiden ääneneristävyyttä voidaan arvioida ja korjaustapoja

soveltaa suoraan luvussa 4.1 esitetyn perusteella. Kuvassa 25 esitetylle, 70 mm paksuiselle TT-laatalle ja tasoitteelle on annettu eri lähteissä äänitasoeroluvuksi arvot $D_{nT,w}$ 44 dB sekä vaihteluväli 44–47 dB (Halme & Halme-Salo 1984: 21; Gyproc Käsikirja 2018: 344).



Kuva 25. Rakennetyyppi TT-laatasta (Halme & Halme-Salo 1984: 21).

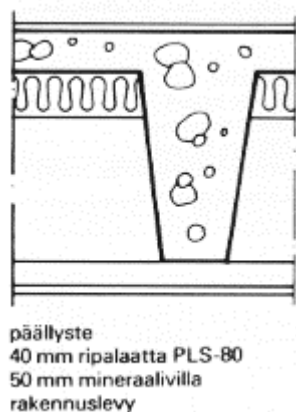
TT-laatalle esitetty kevyt lisärakenne parantaisi ääneneristävyyttä 9 dB, jolloin äänitasoeroluku on 53 dB. Kuvassa 26 esitetyssä rakennetyypissä TT-laatan betonilaatan paksuus on vain 50 mm. (Halme & Halme-Salo 1984: 20)



Kuva 26. Rakennetyyppi TT-laatta ja lisä-äänieriste (Halme & Halme-Salo 1984: 20).

4.2.3 Ripalaatta

Paksuudeltaan 40 mm PLS-80 ripalaatalle on annettu äänitasoeroksi $D_{nT,w}$ 53 dB ja askelääänitasoluvuksi $L'_{nT,w}$ on 63 dB. Toisaalla (Gyproc Käsikirja 2018: 334) on varovaisemmin arvioitu äänitasoeroluvun $D_{nT,w}$ olevan 48–53 dB Ripalaatan rakennetyyppi on esitetty kuvassa 27. (Halme & Halme-Salo 1984: 20, 54)



Kuva 27. Rakennetyyppi ripalaatta ja lisä-äänieriste (Halme & Halme-Salo 1984: 20).

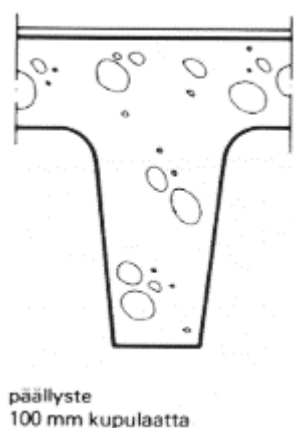
4.2.4 Kupulaatta

Kupulaatta on eräänlainen ristikkopalkiston muodostama ylälaatta. Sen massa on tiheän ja paksun palkiston takia reilusti suurempi, mitä nimellisestä laattapaksuudesta voisi olettaa. Kupulaatta on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Kupulaatta (Finn-Form Oy 2017).

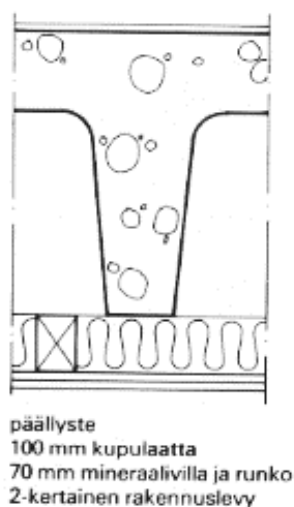
Valmistajan (Finn-Form Oy 2017) esitteen mukaan 100 mm kupulaatan massa on 432 kg/m^2 , kun käytetään C25/30-betonimassalle tarkoitettua kupumuottiprofiilia. Kuvassa 29 esitetylle, 100 mm:n paksuiselle kupulaatalle on annettu äänitasoeroluvuksi $D_{nT,w}$ eri lähteissä 53 dB ja vaihteluväliksi 50–54 dB (Halme & Halme-Salo 1984: 20); Gyproc Käsikirja 2018: 342).



Kuva 29. Rakennetyyppi kupulaatta (Halme & Halme-Salo 1984: 20).

Pelkällä kupulaatalla saavutettava ääneneristystaso ei siis riitä ainakaan asuinkäyttöön, joten on rakennetta voi olla tarpeen parantaa alakattorungon, mineraalivillan ja

rakennuslevyjen avulla. Kuvassa 30 on esitetty alapuolelta äänieristetty kupulaatta, joka parantaisi ilmaääneneristävyyttä 60 dB:hen (Halme & Halme-Salo 1984: 17).



Kuva 30. Rakennetyyppi kupulaatta ja lisä-äänieriste (Halme & Halme-Salo 1984: 17).

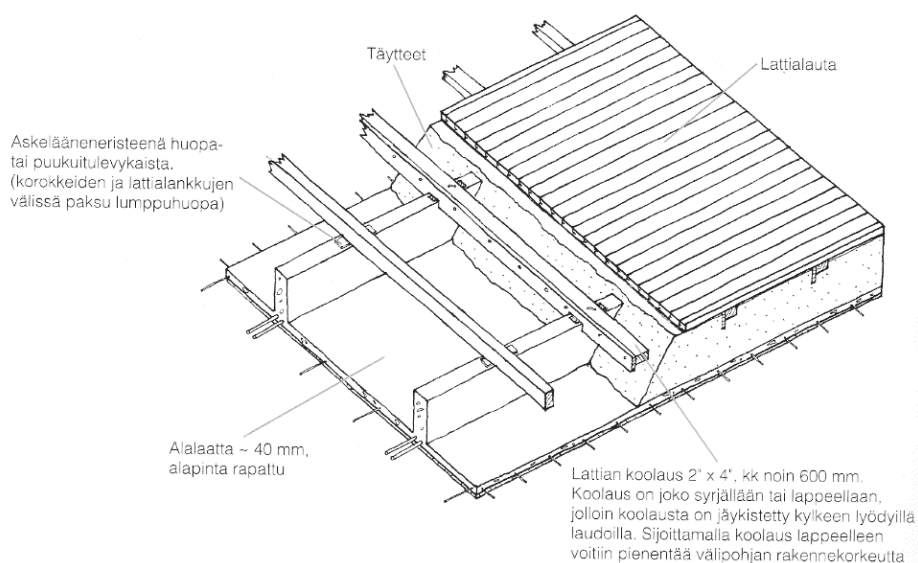
Kuvan rakenteen askeläänitasoluvuksi $L'_{nT,w}$ on esitetty 54 dB, kun päällysteenä on pehmeöpohjainen muovimatto tai vastaava (Halme & Halme-Salo 1984: 17, 55).

Ko. kupulaatan ilmaääneneristävyys saadaan siis uudisasuntotasolle tavanomaisella ääntäeristävällä alakattorakenteella. Spektripainotettu askeläänitaso $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ saavuttaminen edellyttää hieman parempaa ratkaisua. Suositeltava vaihtoehto toteutukselle on tukea alakaton kaksinkertainen levytys tärinäeristettyjen kannakkeiden avulla kupupalkeista, ja asentaa vaimennusvilla levytyksen päälle. Mikäli parannus halutaan toteuttaa lattian päälle, tulee kelluva lattian mitoittaa niin, että kelluvan lattian ominaistajuus jää alle 50 hertsin.

4.2.5 Alalaattapalkisto

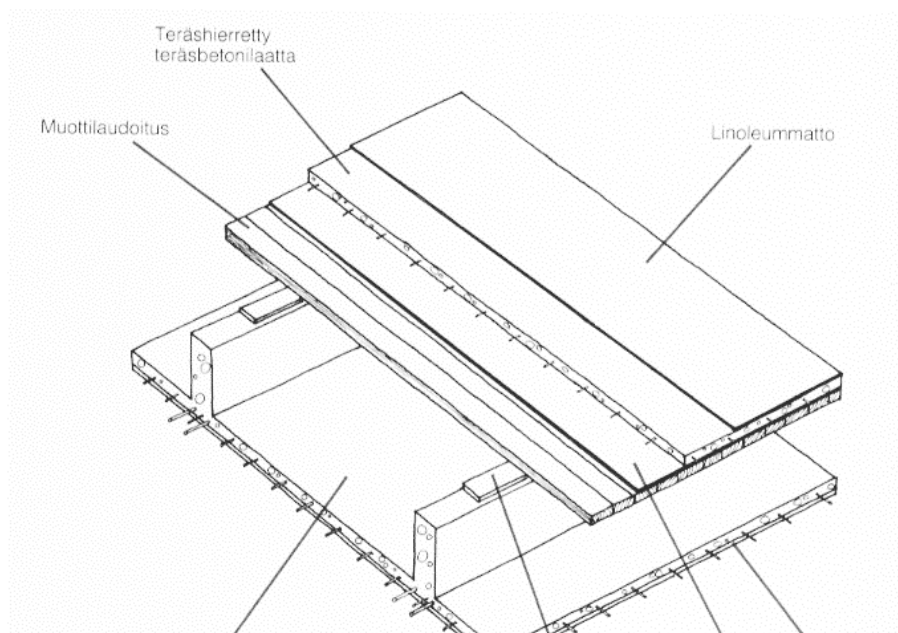
Alalaattapalkistoja rakennettiin 1900-luvun alusta 1950-luvun alkuun saakka. Alalaattapalkisto koostuu raudoitetuista betonipalkeista, jonka alapintaan on valettu ohut yleensä vain 40 mm paksuinen betonilaatta, joka rapattiin. Lattiarakenteet olivat joko kuvassa 31

esitettyjä koolauksen varaan naulattuja puulattioita tai täyterokksen päälle valettuja betonilattioita. (Neuvonen 2002: 100–101)



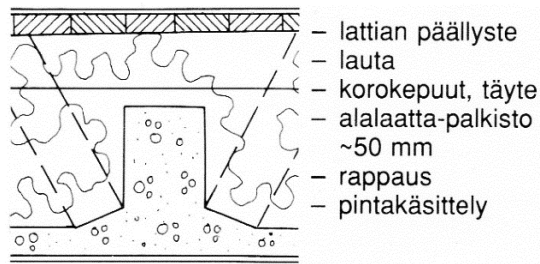
Kuva 31. Alalaattapalkisto lautalattialla (Neuvonen 2002: 102).

Kuvassa 32 on esitetty alalaattapalkisto betonilattialla.



Kuva 32. Alalaattapalkisto betonilattialla (Mäkiö ym. 2016a: 126).

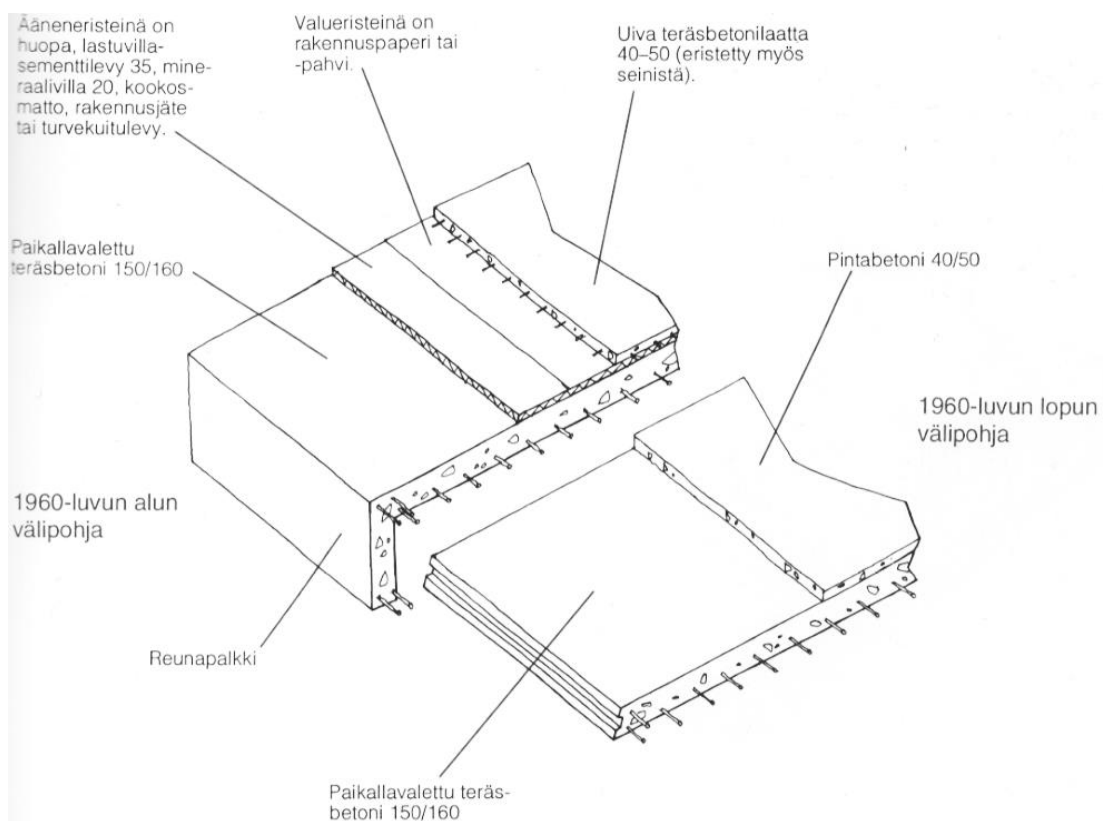
Vaikka alalaattapalkistorakenteita tulee usein vastaan vanhojen rakennusten korjauksissa, löytyy ääneneristysarvoja kirjallisuudesta huonosti. Kuvassa 33 on puulattiarakenteiden alalaattapalkisto, jonka äänitasoeroluvuksi $D_{nT,w}$ on esitetty 52–55 dB ja askeläänitasoluvuksi $L'_{nT,w}$ lähteestä riippuen 55 tai 66 dB (Äänikirja 1991: 121; Gyproc Käsikirja 2018: 322).



Kuva 33. Rakennetyyppi alalaattapalkistosta (Äänikirja 1991: 121).

4.2.6 Massiivibetonilaatat

Massiivibetonilaatoilla tarkoitetaan laattamaisia homogeenisia betonirakenteita, joiden paksuudet vaihtelevat välillä 80–280 mm. Välipohjatyyppejä on ollut käytössä 1930-luvulta lähtien (Neuvonen 2002: 101). Kuvassa 34 esitetyn ohuen betonilaatan on ääneneristeenä valusolubetonikerros tai villan päälle valettu betonilaatta.



Kuva 34. Massiivibetonilaatta (Mäkiö ym. 2016b. 2016: 71).

Kirjallisuudessa massiivibetonivälipohjille on annettu taulukossa 7 esitetyjä ääneneristysarvoja.

Taulukko 7. Massiivilaatan ilma- ja askeläänieristävyydet kirjallisuudessa ilmaääneneristävyydelle ja askeläänitasolle (Rakentamismääräyskokoelma C5 1985: 7; Halme & Halme-Salo 2003: 18–35; Halme & Halme-Salo 1984: 53–55; Äänikirja 1991: 49; Elementtisuunnittelu).

Rakenne	Äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ [dB]	Askeläänitasoluku $L'_{nT,w}$ [dB]
80 mm betoni	44	-
160 mm betoni	52–53	59
170 mm betoni	53	-
180 mm betoni	55	-
190 mm betoni	52	57–58
200 mm betoni	55–56	-
210 mm betoni	-	56
240 mm betoni	55	58
260 mm betoni	55	53

Massiivibetonilaatan ääneneristävyyden pitäisi yleensä kasvaa lineaarisesti paksuuden funktiona lukujen 2.2.2 ja 2.3.2 mukaisesti. Uudemmissa lähteissä annetut arvot ovat pääsääntöisesti huonompia, vaikka samaan aikaan välipohjapaksuuden lisääntyessä myös sivuavien rakenteiden massat ovat kasvaneet. Siten 200 mm tai sitä ohuempien laattojen arvoihin tulee suhtautua varauksella.

Taulukossa 8 on esitetty kaksoisrakenteiden eli kelluvilla lattioilla tai ääntäeristävällä alakatolla varustettujen massiivibetonivälipohjien ääneneristysarvoja kirjallisuudesta.

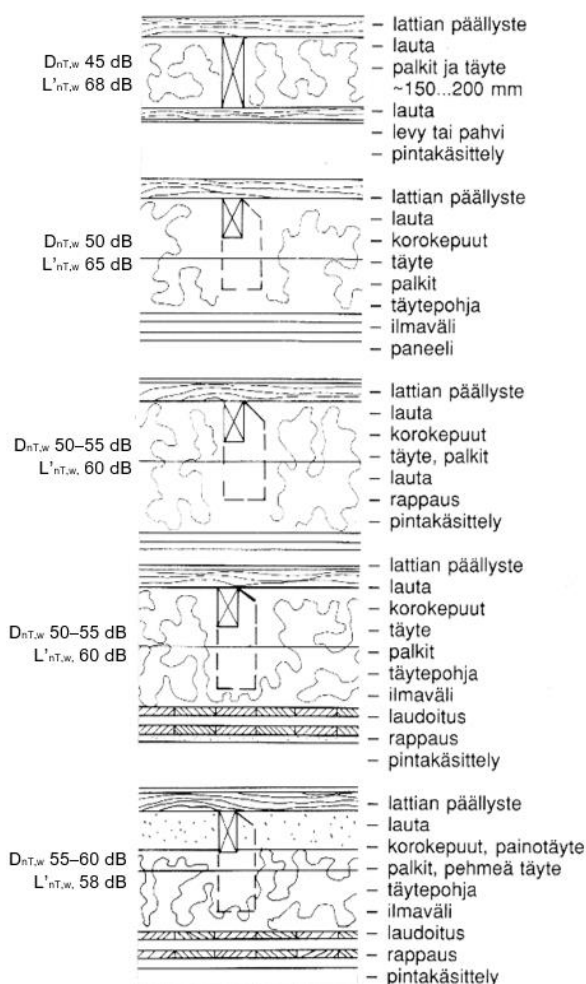
Taulukko 8. Massiivilaatta-kaksoisrakenteiden ilma- ja askeläänieristävyydet kirjallisuudessa ilmaääneneristävyydelle ja askeläänitasolle (Halme & Halme-Salo 2003: 18–35; Halme & Halme-Salo 1984: 17–19, 54–55; Äänikirja 1991: 121).

Rakenne	Äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ [dB]	Askeläänitasoluku $L'_{nT,w}$ [dB]
<i>Kelluvat lattiat</i>		
2x15 mm kipsi 30 mm askeläänieriste 200 mm betoni	55	53
50 mm betoni 50 mm lastuvillalevy 150 mm betoni	45	55
50 mm betoni 50 mm hiekka 150 mm betoni	52–55	60
50 mm betoni 50 mm korkki 150 mm betoni	52–55	55
40 mm betoni 30 mm askeläänieriste 160 mm betoni	52–55	55–58
80 mm betoni 80 mm villa, 160 mm betoni	60	49
<i>Ääntäeristävät alakatot</i>		
160 mm betoni 50 mm villa/runko, 1x13 kipsi	55	-
160 mm betoni 70 mm villa/runko 2x13 kipsi	60	49

4.2.7 Puuvälipohjat

Puuvälipohjien ääneneristävyyden laskenta varsinkin askelääneneristävyyden kannalta eroaa merkittävästi edellä esitetyistä betonirakenteista. Aihe on myös hyvin laaja, ja siitä onkin hiljattain tehty erillinen opinnäytetyö. Latvanteen (2015: 148–149) diplomityössä on käyty läpi puuvälipohjien askelääneneristävyyden laskentamalleja, kuuntelukokeita ja

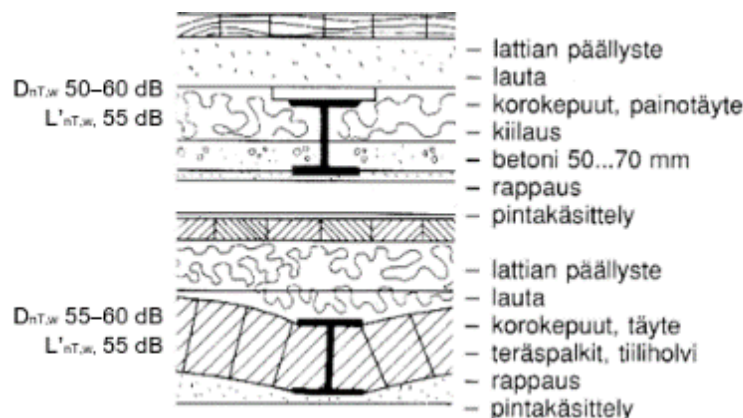
sosio-akustisia tutkimuksia sekä mitkä välipohjan rakenteelliset ominaisuudet vaikuttavat askelääneneristykseen. Diplomityön mukaan yleisesti saatavilla olevat laskentamallit eivät ole vielä käyttökelpoisia suunnittelutyökaluja. Tarkasteltava taajuusalue tulee ulottaa pienille taajuuksille vastaavasti kuten betonivälipohjissa, joissa on kelluva lattiarakenne. Rakenteiden tärkeimpiä ominaisuuksia ovat lattiapalkkien yläpuolisen rakenteen ja alakaton yhteismassa sekä joustavat liitokset alakatosta palkistoon ja pintalaatan asennus raakavälipohjan päälle. Yksittäisten paksujen levyyn on tehokkaampaa käyttää useita ohuita levyjä. Lattiapäällysteen parannusvaikutus riippuu raakavälipohjan massasta ja joustavuudesta, ja voi jäädä hyvinkin pieneksi kevyen ja joustavan rakenteen päällä. Massiivipuuvälipohjilla tärkeintä on lattian pinta- ja alakattorakenne. Vanhojen puuvälipohjien rakennetyyppejä sekä tyypillisiä ääneneristävyksiä on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. Rakennetyypit puuvälipohjista (Äänikirja 1991: 121).

4.2.8 Teräsrunkoiset välipohjat

Teräsrunkoisista välipohjista saatavilla oleva tieto on vähäistä. Kuvassa 36 on esitetty kaksi tyypillistä rakennetyyppiä ja ääneneristystaso.



Kuva 36. Rakennetyypit teräspalkkituetusta välipohjista (Äänikirja 1991: 121).

Kuvan rakenteissa palkistoon liittyy yhtenäinen betoni- tai tiilirakenne, joten ääneneristystasoa ja korjaustapaa voidaan määrittää betonirakenteille esitettyjä periaatteita noudattaen.

4.3 Case 1: Ylälaattapalkiston korjaus

4.3.1 Lähtötilanne

Tutkittava kohde on 1930-luvun rakennus, johon suunniteltiin ja toteutettiin kokonaisvaltainen käyttötarkoituksen muutos asunnoiksi. Käyttökelpoista oli lähinnä kantava betoni-runko, jossa ylälaattapalkiston lisäksi oli massiiviset tiiliseinät, ja siten sivutiesiirtymien osuus oletettavasti pieni. Tässä esitetyt mittaustulokset ja mitatut välipohjarakenteet on esitetty liitteessä 1. Raakavälipohjasta eli 60+60 mm paksuisesta ylälaatasta mitattu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ oli 45 dB, mutta rakenne ei ollut tiivis, joten tiiviillä rakenteella olisi todennäköisesti päästy noin 50 dB:iin. Askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ oli 56 dB kellarin lattiaparketin päältä mitattuna ja 78 dB betonipinnasta. Päällystettyjen rakenteiden mitatut ääneneristävyysarvot ovat hieman kirjallisuudessa esitettyjä arvoja parempia.

Tilojen välistä ääneneristävyyttä mallinnettiin Bastian-ohjelmalla. Mittausta vastaavaa rakennekokonaisuutta mallintamalla raakavälipohjan äänitasoeroksi $D_{nt,w}$ saadaan 51 dB ja askeläänitasoluvuksi $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ 59 dB (betonipinnalla 68 dB). Mallinnetut tulokset vastasivat mittaustuloksia melko hyvin. Kun mallinnuksen alkutilanne on todettu käyttökelvoiseksi, voidaan korjaustoimenpiteiden vaikutusta mallintaa luotettavammin.

4.3.2 Korjausvaihtoehdot

Edellisen perusteella on ylälaattapalkiston ääneneristävyys sellaisenaan heikko, ja vaatii ainakin asuinkäyttöä varten lisärakenteita välipohjan ylä- tai alapuolelle. Pelkän ylälaattapalkiston ääneneristystä arvioidessa voi laatan paksuuden lisäksi laskennassa ottaa huomioon palkiston tuoma lisämassa, ainakin jossain määrin ja riippuen palkkien K-jarjasta ja poikkileikkauksesta.

Yksinkertaisin parannuskeino on valaa lisää betonimassaa ylälaatan päälle ja parannusvaikutuksen laskenta yksinkertaista kohtien 2.2.2 ja 2.3.2 peruskaavojen avulla. Uudisasuinrakentamisen tasoa varten kokonaislaattapaksuuden tulisi olla yli 200 mm, jolloin lisävalua tarvittaisiin ainakin 100 mm. Ongelmaksi voi tulla rakenteiden kantavuus, lattiakorot porraskäytävien, hissien ja ikkunoiden suhteen sekä korjauksen massiivisuus, joten korjaustapa lienee käytännöllistä vain täydellisessä peruskorjauksessa tai yksittäisten tilojen osalta.

Toinen vaihtoehto olisi asentaa kelluva lattiarakenne, jonka ominaistaajuus tulisi askeläänieristykseen takia jäädä alle 50 hertsin. Sen saavuttaminen vaatii kuitenkin askeläänieristeen, jonka dynaaminen jäykkyys on alle 10 MN/m³ sekä 80 mm:n betonilaatan tai vaihtoehtoisesti lattiasta pisteittäin tai kaistoittain oikein mitoitetuilla tärinäeristimillä tuetun lattiarakenteen. Tärinäeristetty lattia voi olla kevyempi, mutta kokopintaista eristelattiaa monimutkaisempi toteuttaa. Molemmat ratkaisut nostavat lattiakorkoa, joskin korotus voi jäädä alle 10 senttimetriin tärinäeristetyllä lattialla.

Yläpohjalaatan ääneneristävyyden parantaminen pelkästään alapuolelle tehtävillä lisäkerroksilla ei ole tehokasta eritoten askeläänien sivutiesiirtymän takia. Mikäli sivutiesiirtymät lattiasta seiniin ja säteily edelleen ilmaääneksi on estetty seinäverhouksilla tai

erittäin massiivisilla rakenteilla, voidaan jopa uudisasuntotaso saavuttaa mitoittamalla kannakkeiden joustavuus ja alakaton levytystyyppi ja määrä riittäviksi.

Jos vaatimustaso on kevyempi esimerkiksi askelääneneristävyyden osalta siten, että vanhan vuoteen 2018 asti voimassa olleen määräystason täyttäminen riittää, helpottaa se erityisesti kevyen kelluvan rakenteen toteuttamista. Kelluva lattia voidaan tehdä ohuempana levy- tai valumassalattiana askeläänieristeen päälle, jolloin ominaistaajuus saadaan helposti alle 100 Hertsin. Jos kelluva rakenne sekä ylälaatta ovat kevyitä, saatetaan alapuolella tarvita lisäksi ääntäeristävä alaslaskettu katto. Tällä yhdistelmällä saatetaan myös päästä uudisasuntotasoon, jos kantavan rakenteen massa on riittävä ja sivutiesiirtymät hallinnassa.

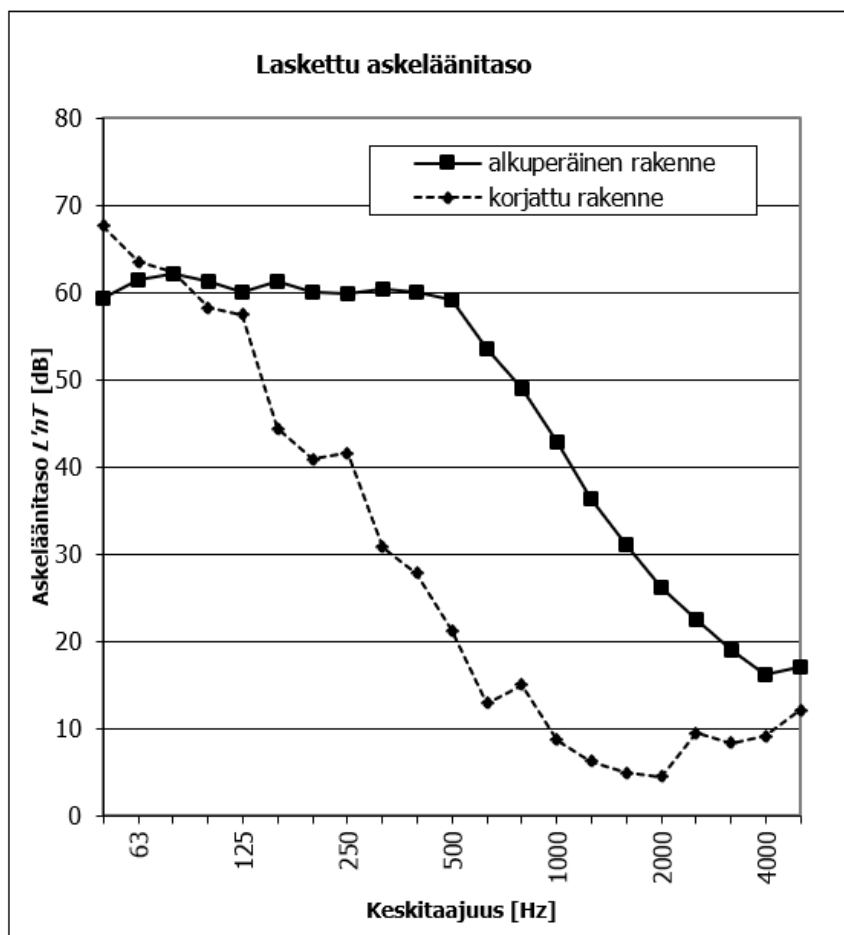
Ylälaattapalkiston korjauksessa tulee lisäksi huomioida sivutiesiirtymä ohuen ylälaatan kautta. Mikäli ylälaatan pinta jää näkyväksi lattia- tai kattopinnaksi, siirtää se kevyen massan takia ääntä sivusuunnassa tilassa toiseen ja heikentää vierekkäisten tilojen välillä. Sivutiesiirtymään vaikuttaa ylälaatan massan lisäksi palkiston sijainti ja suunta seinään nähden sekä palkkien K-jako. Pääsääntöisesti vierekkäisten asuntojen tai eri toimijoiden välillä ei voi jättää ylälaattapalkistoa koteloimatta.

4.3.3 Korjattu tilanne

Rakenne on korjattu kelluvalla lattialla sekä betonipalkkien väliin asennetulla ääntäeristävällä alakatolla. Tilojen ulkoseinärakenne on pysynyt koskemattomana. Huonejärjestelyjen takia vanhat sisäseinät on purettu, ja korvattu kahdella 200 mm paksuisella betoniseinällä, jotka sijoittuvat vanhojen seinälinjojen lähelle. Tilojen välillä tehtyjen mittausten äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ oli 65 dB ja askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ oli 53 dB. Huomionarvoista on, että askelääneneristävyys on parantunut vain 3 dB kelluvasta lattiarakenteesta ja ääntäeristävästä alakatosta huolimatta. Syy tähän näkyy liitteen 1 terssi-kaistaisista mittaustuloksista, joissa ääneneristys on heikentynyt alle 100 Hz taajuuksilla.

Kelluvalla lattialla ja äänieristetyllä alakatolla korjattu rakenne myös mallinnettiin, ja äänitasoero parani 62 dB:iin, mutta askelääneneristävyyden yksilukuarvo pysyi samana 59 dB:ssä. Laskentatulokset jäivät mittaustuloksia huonommaksi, varsinkin pienillä

taajuuksilla. Kuvassa 37 on esitetty askelääneneristävyyden mallinnetut tulokset taajuuskaistoittain, josta näkee korjatun rakenteen parantavan ääneneristävyyttä kaikilla paitsi pienillä taajuuksilla, joilla lisärakenteiden resonanssit heikentävät tilannetta. Koska vertailukäyrämenettely painottaa (vertailukäyrään nähden) heikoimpia taajuuksia ja spektripainotustermi pieniä taajuuksia, ovat yksilukuarvot kuitenkin samat.



Kuva 37. Tilojen välisen askeläänitasolukujen mallinnus. Alkuperäinen sekä korjattu rakenne.

4.4 Case 2: Alalaattapalkiston korjaus

4.4.1 Lähtötilanne

Toinen esimerkkikohde on 1910-luvulla valmistunut rakennus, johon tehdään mittavat korjaustoimenpiteet ja uusia asuntoja. Välipohjan alalaattapalkiston palkkien dimensiot ovat 250x350 mm ja alalaatan paksuus 60 mm. Välipohjassa täyttönä on ollut turvetta, hiekkaa ja tiilijätettä. Lattiarakenteena on puukoolaus 50 mm, ponttilauta 40 mm, muovimatto ja (nykyaikainen) parkettilattia. Välipohjan kokonaispaksuus on 500 mm. Välipohjarakenne on mitattu kolmesta eri tilasta. Äänitasoeroluvuiksi $D_{nT,w}$ on mitattu 59, 59 ja 61 dB ja askeläänitasoluvuksi $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ 52, 52 ja 55 dB. Taajuuskaistaiset mittaustulokset on esitetty liitteessä 2.

Kentällä mitattujen tilojen välistä ääneneristävyyttä mallinnettiin Bastian-ohjelmalla. Mallinnus tehtiin kolmesta suorakaiteen muotoisesta tilasta, joiden tilavuudet olivat 60, 61 ja 74 m³. Tilat sijaitsivat rakennuksen julkisivun nurkassa ja keskellä sekä päädyssä naapurirakennusta vasten. Tilojen seinät olivat kantavia massiivitiiliseiniä tai ohuempia kivirakenteisia väliseiniä. Mittausta vastaavilla rakennekokonaisuuksilla mallintamalla saatiin äänitasoeroluvuiksi $D_{nT,w}$ 54 kaikille kolmelle tilalle ja askeläänitasoluvuksi ja $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ 53, 54 ja 54 dB.

Vaikka tilojen muoto, seinärakenteet ja niiden sekä ikkunoiden ja ovien pinta-alat vaihtelevat, ovat laskentatuloksien erot hyvin pieniä. Laskennan ja mittaustulosten välinen ero selittyy osittain siitä, että välipohjan eri rakennekerrosten välisiä kytkentöjä ei pysty mallintamaan kovin luotettavasti. Ilma- ja askeläänien kytkeytyminen pintamateriaalin kautta koolaukseen ja alalaattapalkistosta betonipalkkiin, alalaattaan ja rappaukseen, kun täytteenä on sekalainen kerros rakennusjätettä, on hyvin monimutkainen ilmiö. Taulukossa 9 on esitetty vertailun vuoksi mittaustuloksia muista vanhoista kohteista, mistä näkyy alalaattapalkistorakenteiden ääneneristystason vaihtelu. Taulukossa on lisäksi esitetty muutaman toteutetun korjauksen vaikutus.

Taulukko 9. Mitatut alalaattapalkistot

Kohde	Äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ [dB]	Askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ [dB]
A	59	52
B1	55	-
B2	58	-
C	-	52
D1	-	56
D2		57
D3	-	63 (ennen remonttia, laatta) 54 (korjattu, uiva lautaparketti)
E1	-	54 (ennen remonttia) 51 (korjattu, kelluva lattia)
E2	-	51 (ennen remonttia)
F	-	58 (ennen remonttia) 54 (korjattu, uiva lautaparketti)
G1	-	37 (korjattu, kelluva lattia)
G2	-	41 (korjattu, kelluva lattia)

4.4.2 Rakenteen korjausvaihtoehdot

Mikäli kaikki mittaustulokset olisivat täyttäneet uudisasuinrakentamisen tason, olisi käytötarkoituksen muutoksessa voitu keskittyä ääneneristystason pitämiseen ennallaan. Koska yhden välipohjan askelääneneristys ei ollut riittävä, on selvittävä millaisin toimenpitein uudisasuinrakentamisen taso olisi saavutettavissa. Seuraavana askeleena on joko toteuttaa vaadittavat muutokset, tai selvittää olennaisen teknisen vaatimuksen ja riittävän hyvien ääniolosuhteiden täyttävät kohtuullisemmat toimenpiteet. Kohteessa askelääneneristävyyttä tulisi parantaa 2 dB ja korjaukset kohdistaa 50–250 Hz väliselle taajuusalueelle. Parannus saattaisi onnistua rakennuslevyjen lisäämisellä ponttilaudan päälle. Varmin tapa on muuttaa lattia kelluvaksi rakenteeksi siten, että puukoolauspalkiston ja betonipalkkien väliin asennetaan staattisten ja dynaamisten kuormien

perusteella mitoitettut tärinäeristyskaistat. Koko lattiapinta-alalle asennettava askeleenieristelevy ja kelluva lattia tai jäykästi kattoon kiinnitetty ääntä eristävä alakattorakenne eivät ole suositeltavia vaihtoehtoja. Kohteen suunnittelu on vasta alussa, joten mittaustuloksia korjatusta rakenteesta ei ole saatavilla.

Korjaustavasta riippuen ja sellaisessakin tapauksessa, että ääneneristystä ei tarvitsisi parantaa, tulee usein vastaan välipohjan sisällä olevan sekalaisen rakennusjätteen poistaminen sisäilmaongelman korjaamiseksi tai sen välttämiseksi tulevaisuudessa. Jätteen poistamiseksi pitää välipohja avata, ja se voidaan tehdä joko lattian tai katon kautta. Reitin valintaan vaikuttavat ääneneristyksen lisäksi monet muut asiat, mutta yleensä on järkevää kohdistaa ääneneristyksen parannustoimenpiteet siihen pintaan, joka joudutaan joka tapauksessa sulkemaan tai rakentamaan uudelleen.

Rakennusjätteen tuoma massa toimii välipohjassa ääneneristeenä, joten sen poisto tulee pyrkiä kompensoimaan jollain tavalla. Kevyin tapa on vaihtaa tilalle pehmeää mineraalivillaa, joka vaimentaa kaikumista ilmatilassa. Villan heikkous on juuri sen keveys, joten massaa voidaan tuoda palkkiväleihin soran, valumassan tai rakennuslevyjen avulla. Kompensointi voidaan myös toteuttaa kelluvan laatan tai ääntä eristävän alakaton avulla, jotka voivat olla kokonaisuuden kannalta parempia vaihtoehtoja, erityisesti, jos lisäkerroksia aiotaan muiden syiden takia toteuttaa, esimerkiksi vesikiertoisen lattialämmityksen tai paloturvallisuuden takia.

5 Pohdinta

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin vanhojen välipohjarakenteiden ääneneristävyksiä ja korjausten suunnitteluun vaikuttavia asioita standardien, kirjallisuuden, mittaustulosten sekä yrityksen ja oman suunnittelukokemuksen perusteella. Työssä aiotut tutkimusmenetelmät hieman muuttuivat työn alkupuolella, kun alan kirjallisuuslähteistä löytyi oletettua paremmin vanhojen rakenteiden ääneneristävyksien lukuarvoja. Siten tässä keskityttiinkin kokoamaan yksiin kansiin mahdollisimman kattavasti ja käytännönläheisesti välipohjakorjauksiin liittyviä asioita akustiikan sekä akustiikkasuunnitteluun vaikuttavien

muiden asioiden kannalta. Korjaussuunnittelun prosessia havainnollistettiin kahden esimerkkitapauksen kautta.

Jo aihetta valitessa oli selvää, että yksittäisen vanhan kohteen rakenteiden ääneneristuksen määrittäminen ja korjausten vaikutus ei tulisi olemaan helppoa ja yksinkertaista, vaikka kohteesta olisi saatavilla kaikki alkuperäiset rakennuspiirustukset ja vaikka tekijällä olisi hallussaan alan teorian sekä standardit. Työtä tehdessä vahvistui käsitys, että kirjallisuuden tietojen, mallinnuksen ja mittauksien välillä on eroja, joiden kaikkia syitä on mahdoton tunnistaa. Jokainen vanha rakennus ja tilojen välinen välipohja on yksilö, jonka rakennetta on tarkoituksella tai tahattomasti saatettu muokata jossain vaiheessa, joko alkuperäisen toteutuksen aikaan tai myöhemmässä korjauksessa. Mallinnukset sisältävät yksinkertaisuuksia, eikä kaikkia asioita pystytä ottamaan huomioon tai arvioimaan laskennan epätarkkuutta luotettavasti.

Rakenteiden ääneneristävyyksien arviointi pelkästään laskennallisesti on saatavilla olevan tiedon valossa usein liian epätarkkaa rakennusprojektin kannalta, joten rakenteista tarvitaan lisäksi kohteessa paikan päällä tehtyjä kenttämittauksia tarkempien tuloksien saamiseksi. Pelkästään, tai yksittäisiin, kenttämittauksiin ei saa liikaa painoa asettaa, vaan on huomioitava, että tulosten muutaman desibelin hajonta saman rakennuksen eri asuntojen välillä on normaalia jo pitkälle vakioituneissa elementtirakentamisissa. Kenttämittausten hyvänä puolena on se, etteivät ne edellytä rakenteiden avauksia, joten rakennuksen ääniolosuhteista voidaan saada hyvä käsitys jo hyvin varhaisessa vaiheessa.

Rakennusten korjaamisesta on asetuksessa määrätty, ettei ääniolosuhteita saa heikentää vallitsevaan tilanteeseen nähden. Kun rakennuksesta on mitattu lähtötilanne ennen korjausta ja korjauksen jälkeen, voidaan määräyksen täyttyminen todentaa.

Työn jatkokehitystarpeiksi mainittakoon yleisesti sisällön laajentaminen käsittelemättä jääneisiin välipohjarakenteisiin sekä tietysti käsiteltyjen välipohjarakenteiden tiedon syventäminen. Yksittäisinä jatkokehityskohteina nousi esille kenttämittaustulosten dokumentoinnin tarkkuus. Jokaisesta saatavilla olevasta mittauksesta pitäisi pyrkiä selvittämään tilojen välipohjarakenne sekä sivutiesiirtymäreittien vaikutus vielä tarkemmin, jotta tuloksia voisi käyttää paremmin hyväksi myöhempien kohteiden suunnittelussa. Onneksi

viime aikoina tiedon saatavuutta edesauttaa kaupunkien rakennusvalvontojen sähköiset palvelut, joiden avulla alkuperäiset rakennetyypit ovat nopeastikin saatavilla.

Muiksi kehityskohteiksi nousi esille kelluvien lattioiden resonanssitaajuuden ja sen voimakkuuteen liittyvän laskentamallin kehitys sekä ääntäeristävien alakattojen parannusvaikutusten eron tutkiminen ilma- ja askelääneneristävyyden välillä. Näiden tutkimista varten yllä esitetty tarkempi kenttämittausdata on tarpeen.

Lähteet

Akkreditoidut toimijat. 2020. Verkkoaineisto. FINAS-akkreditointipalvelu. <<https://www.finas.fi/toimijat/Sivut/default.aspx>>. Luettu 21.2.2020.

Asumisterveysasetus 545/2015. 2015. Helsinki. Sosiaali- ja terveysministeriö.

Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja biologiset tekijät. 2003. Helsinki. Sosiaali- ja terveysministeriö.

Bastian. 2020. Verkkoaineisto. DataKustik GmbH.<<https://www.datakustik.com/products/bastian/bastian/>>. Luettu 26.2.2020.

Gyproc Käsikirja, huhtikuu 2018. Kevytrakennejärjestelmät. Kirkkonummi. Saint-Gobain Finland Oy.

Halme, Alpo & Halme-Salo, Eija. 2003. RIL 129 Ääneneristyksen toteuttaminen. Forssa. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y.

Halme, Alpo & Halme-Salo, Eija. 1984. RIL 129 Ääneneristyksen toteuttaminen. Forssa. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y.

Helimäki, Heikki & Kylliäinen, Mikko. 2001. Verkkoaineisto. Betonivälipohjien askelääneneristys. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010304.pdf>>. Luettu 31.3.2020.

Hongisto, Valtteri & Kylliäinen, Mikko. 2015. ÄKK loppuraportti. Rakennusten ääniolosuhteiden käyttäjälähtöinen kehittäminen. Työterveyslaitos.

Hongisto, Valtteri. 2013. Oppikirja kurssille S89.3471 Meluntorjunta. Aalto Yliopiston teknillinen korkeakoulu.

Insul 7.0 ja 9.0. Tietokone-ohjelma. Sound Insulation Prediction. Marshall Day Acoustics.

Isover. Verkkoaineisto. Askelääneneristävyys. <<https://www.isover.fi/suunnittelijalle/aa-neneristaminen/askelaaneneristavyys>>. Luettu 31.3.2020.

Kananen, Anttoni. 2015. Parvekelasien ja lasitetun kaiteen ilmaääneneristävyysmittaaminen tieliikennemelualueelle laboratoriomittausten perusteella. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Korhonen, Perttu. 2018. Kuva työmaalta. Henkilökohtainen sähköpostiviesti 18.2.2020 DI Perttu Korhonen, Helimäki Akustikot.

Korhonen, Perttu. 2016. Kuvakaappaus keskustakirjaston Odeon-mallista. Henkilökohtainen sähköpostiviesti 18.2.2020 DI Perttu Korhonen, Helimäki Akustikot.

Kovalainen, Ville ym. 2019. Kelluvien laattojen askelääneneristävyyden laskenta. A-insinöörit. <http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikka-paivat_2019_s33.pdf>. Luettu 28.2.2020.

Kupumuotti. 2017. Verkkoaineisto. Finn-Form Oy. <<http://www.finnform.net/kupumuotti.htm>>. Luettu 4.3.2020.

Kylliäinen, Mikko & Hongisto Valtteri. 2007. RIL 243-1-2007. Rakennusten akustiikan suunnittelu. Akustiikan perusteet. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

Latvanne, Pekka. 2015. Diplomityö. Puuvälipohjien akustiset ominaisuudet ja laskentamallit. Tampereen teknillinen yliopisto.

Mateus, Dio ym. 2018. Proposal of a simplified method for the prediction of impact sound insulation between rooms, from below to above. Noise Control Engineering Journal, Volume 66, Number 3. Institute of Noise Control Engineering.

Mäkiö, Erkki ym. 2016a. Kerrostalot 1940–1960. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Mäkiö, Erkki ym. 2016b. Kerrostalot 1960–1975. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Neuvonen, Petri ym. 2002. Kerrostalo 1880–1940. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Perustelumuistio ympäristöministeriön asetukseen rakennuksen ääniympäristöstä. 2017. Ympäristöministeriö.

ProfAL asennuslattia. 2018. Verkkoaineisto. Aulis Lundell Oy. <<https://www.aulislundell.fi/naytatuoteperhelista/ProfAL+matalarakenne/78?comboSLength1=&comboSHeight1=&comboSWidth1=>>. Luettu 26.2.2020.

Rauhala, Jussi, 2010. Verkkoaineisto. Rakentajain Kalenteri 2010. Eristerapatun seinän ilmaääneneristävyys. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100302.pdf>>. Luettu 24.3.2020.

RIL 55b. Ääneneristysnormit 1967. Sovellutuksia 1971. 1971. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto.

RIL 174-4 Korjausrakentaminen IV. Runkorakenteet. 1991. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y.

Rindel, Jens Holder. 2018. Sound Insulation in Buildings. Boca Raton. CRC Press.

Saint-Gobain Finland Oy. 2020. Verkkoaineisto. Laskentapalvelut: Kahi-ääneneristävyyslaskin. <<https://www.fi.weber/laskentapalvelut/kahi-aaneneristavyyslaskin>>. Luettu 31.3.2020.

Saint-Gobain Finland Oy. 2018. Verkkoaineisto. Laskentapalvelut: Askeläänitasoluvun laskentaohjelma – EN 12354. <<https://www.fi.weber/laskentapalvelut/askelaanitasoluvun-laskentaohjelma-en-12354>>. Luettu 31.3.2020.

SFS-EN ISO 717-1. 2013. Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation.

SFS-EN ISO 717-2. 2013. Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation.

SFS-EN ISO 12354-1. 2017. Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms.

SFS-EN ISO 12354-2. 2017 Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms.

SFS-EN ISO 16283-1. 2014. Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation.

SFS-EN ISO 16283-2. 2018. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation.

SFS-EN ISO 3382-2. 2018. Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.

Savioja Lauri & Svensson, Peter. 2015. Verkkoaineisto. Overview of geometrical room acoustic modeling techniques. Verkkoaineisto. Journal of the Acoustical Society of America, 138(2), 708–730. <<https://doi.org/10.1121/1.4926438>>. Luettu 18.2.2020.

Siikanen, Unto. 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Simmons akustik och utveckling Ab. 2020. Simmons, Christian. Verkkoaineisto. Calculate sound insulation according to EN ISO 12354, national codes and guidelines. (e.g. BBR) using Bastian and the SAU Nordic Database. <<https://www.simmons.se/De-mostechology.html>>. Luettu 26.2.2020.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C1. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Määräykset ja ohjeet 1998. Ympäristöministeriö.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C1. Ääneneristys. Määräykset. 1985. Sisäasiainministeriö.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C1. Ääneneristys. Määräykset. 1976. Sisäasiainministeriö.

Suonketo, Jommi & Annila, Petri. 2017a. Verkkoaineisto. 1950-luvun koulutalo – rakenteet ja niiden peruskorjaustarve. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. <<http://www.koulurakennus.fi/File/3249/1950-luvun-koulutalo.pdf>>. Luettu 3.3.2020.

Suonketo, Jommi & Annila, Petri. 2017b. Verkkoaineisto. 1960-luvun koulutalo – rakenteet ja niiden peruskorjaustarve. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. <<http://www.koulurakennus.fi/File/3265/1960-luvun-koulutalo.pdf>>. Luettu 3.3.2020.

Takala, Joose. 2013. Suomalaisten asuinhuoneiden ääniolosuhteet ja ääneneristävyyden mittaustapa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä. 2017. Helsinki. Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:18. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. Helsinki. Ympäristöministeriö.

Ääntä eristävät akustiikkalevyt. Verkkoaineisto. 2019. Paroc Group Oy. <<https://www.paroc.fi/tuotteet/akustiikka/moduulikatot/aanta-eristavat-akustiikkalevyt>>. Luettu 17.2.2020.

Äänieristys. 2010. Verkkoaineisto. Elementtisuunnittelu. <<https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/aaneneristys/rakenteen-valinta>>. Luettu 2.5.2020.

Äänikirja 1991. 1991. Helsinki. Oy Partek Ab.

Ääniympäristöohje. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. 2018. Helsinki. Ympäristöministeriö.

Ylälaattapalkiston ilmaääneneristävyyden mittaustulos 1

Välipohjarakenne : 14 mm parketti, 3 mm tuplex, 60 mm pintalaatta, 60 mm ylälaattapalkisto

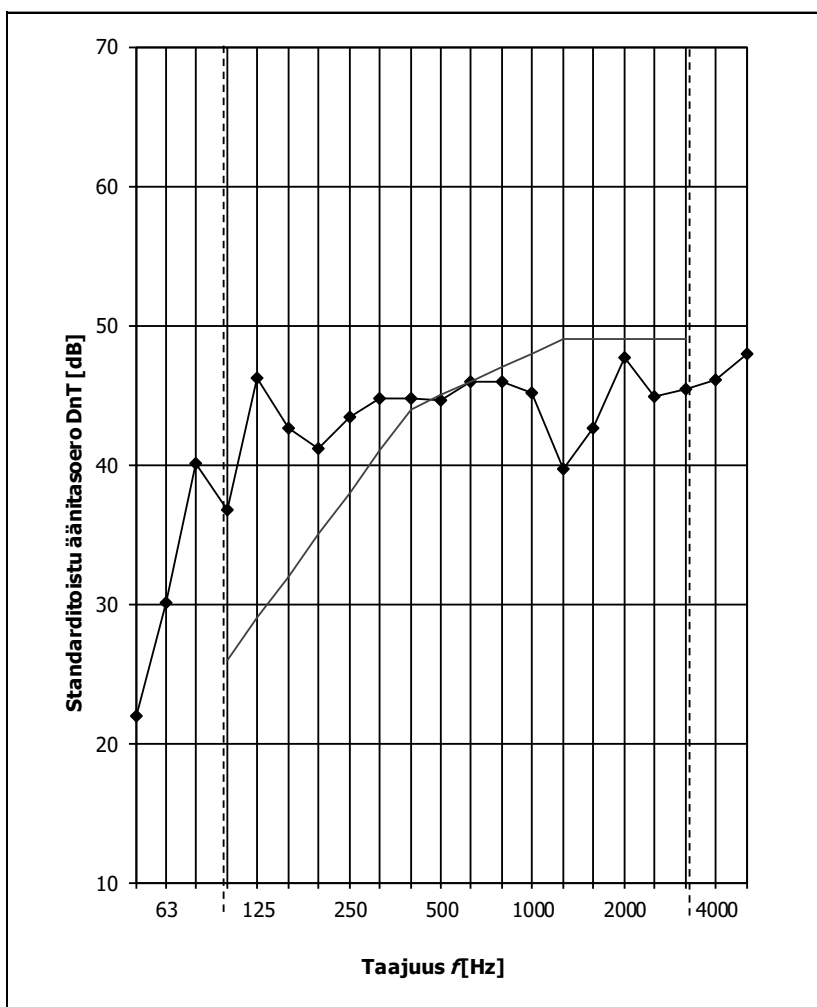
Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 32 \text{ m}^3$

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 50 \text{ m}^3$

f [Hz]	D_{nT} [dB]
50	21,9
63	30,1
80	$\geq 40,1$
100	36,8
125	46,2
160	42,6
200	41,1
250	43,4
315	44,8
400	44,7
500	44,6
630	45,9
800	46,0
1000	45,2
1250	39,7
1600	42,6
2000	47,7
2500	44,9
3150	45,4
4000	46,1
5000	48,0

—●— Mittaus

— Vertailukäyrä
(ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Äänitasoeroluku $D_{nT,w} (C; C_{tr})$: **45** (-1 ; -1) **dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Ylälaattapalkiston ilmaääneneristävyyden mittaustulos 2

Välipohjarakenne : 14 mm parketti, 3 mm tuplex, 60 mm pintalaatta, 60 mm ylälaattapalkisto
(mittaustuloksessa oleva vuotokohta korjattu laskennallisesti tiiviimmäksi)

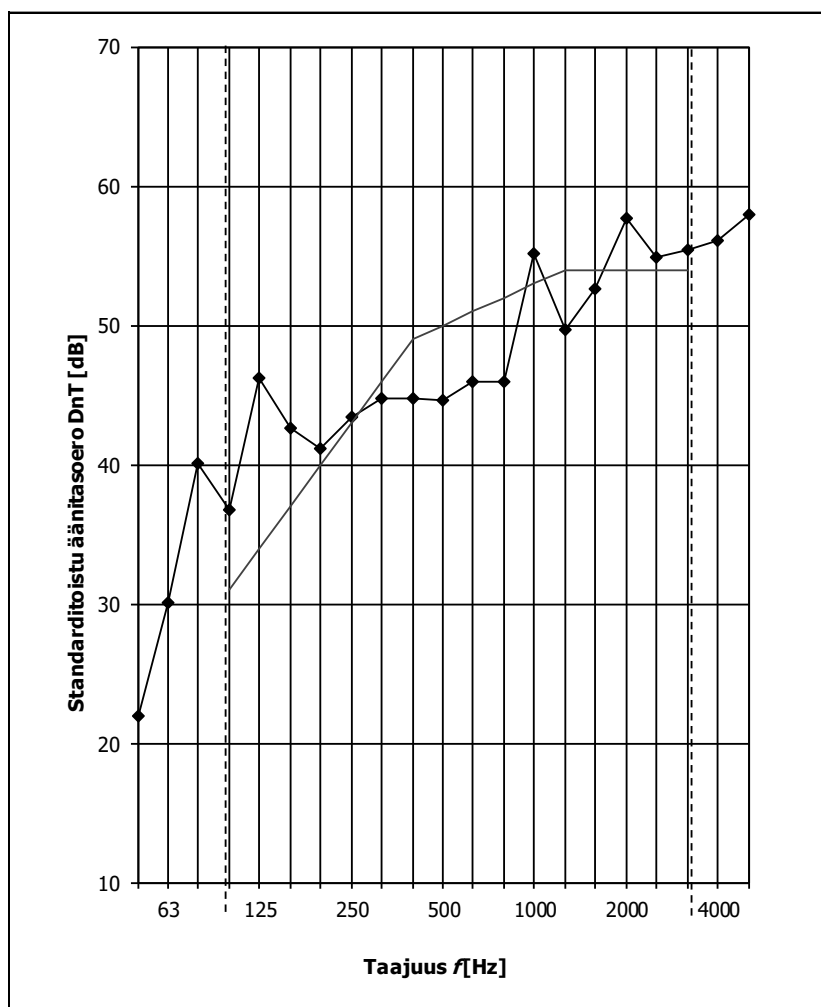
Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 32 \text{ m}^3$

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 50 \text{ m}^3$

f [Hz]	D_{nT} [dB]
50	21,9
63	30,1
80	$\geq 40,1$
100	36,8
125	46,2
160	42,6
200	41,1
250	43,4
315	44,8
400	44,7
500	44,6
630	45,9
800	46,0
1000	55,2
1250	49,7
1600	52,6
2000	57,7
2500	54,9
3150	55,4
4000	56,1
5000	58,0

—●— Mittaus

— Vertailukäyrä
(ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Äänitasoeroluku $D_{nT,w}(C; C_{tr})$: **50** (-1 ; -3) **dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Ylälaattapalkiston ilmaääneneristävyyden mittaustulos 3

Välipohjarakenne : 14 mm parketti, 3 mm tuplex, 30 mm Knauf FE 80 lattiamassa, 55 mm Warmia silent -asennuslevy + vesikiertoinen lattialämmitys, 10 mm tasoitus, 60 mm pintalaatta, 60 mm ylälaattapalkisto, 50 mm Z-orsi + mineraalivilla, 25 mm akustinen jousiranka, 15 mm palonsuojalevy

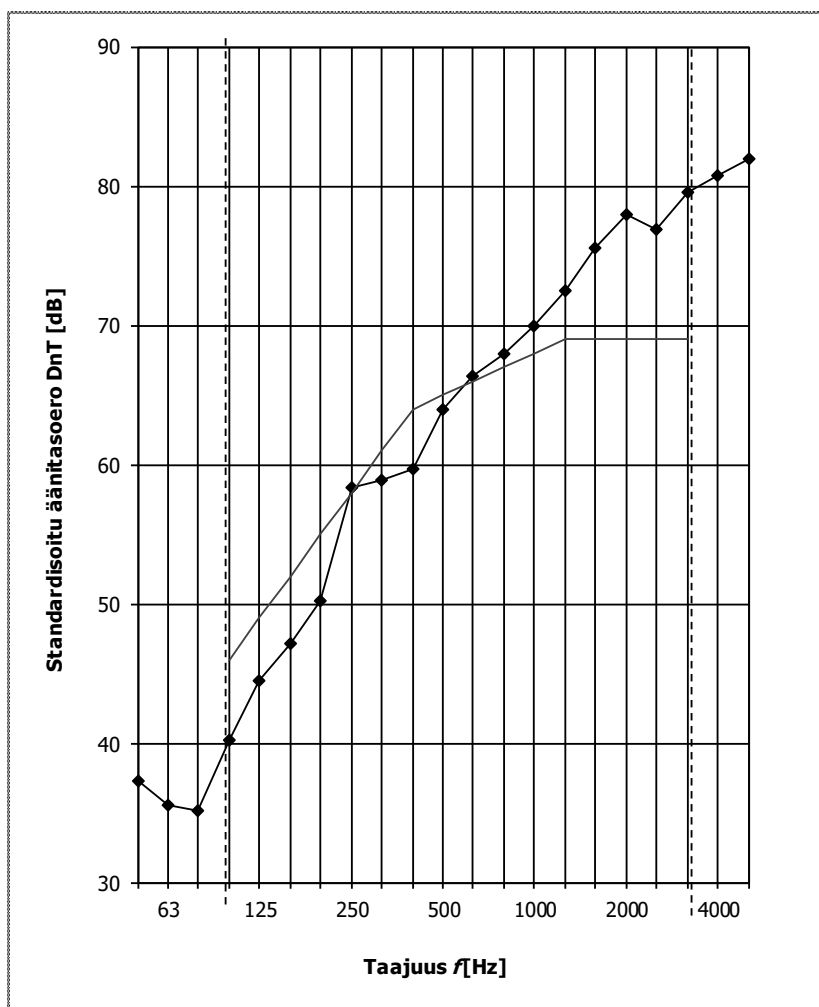
Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 70 \text{ m}^3$

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 70 \text{ m}^3$

f [Hz]	D_{nT} [dB]
50	$\geq 37,3$
63	35,5
80	35,1
100	40,2
125	44,5
160	47,2
200	50,2
250	58,4
315	58,9
400	59,7
500	63,9
630	66,3
800	68,0
1000	70,0
1250	72,5
1600	75,6
2000	78,0
2500	76,9
3150	$\geq 79,6$
4000	$\geq 80,8$
5000	≥ 82

—●— Mittaus

— Vertailukäyrä
(ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Äänitasoeroluku $D_{nT,w} (C; C_{tr})$: **65** (-2 ; -8) **dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

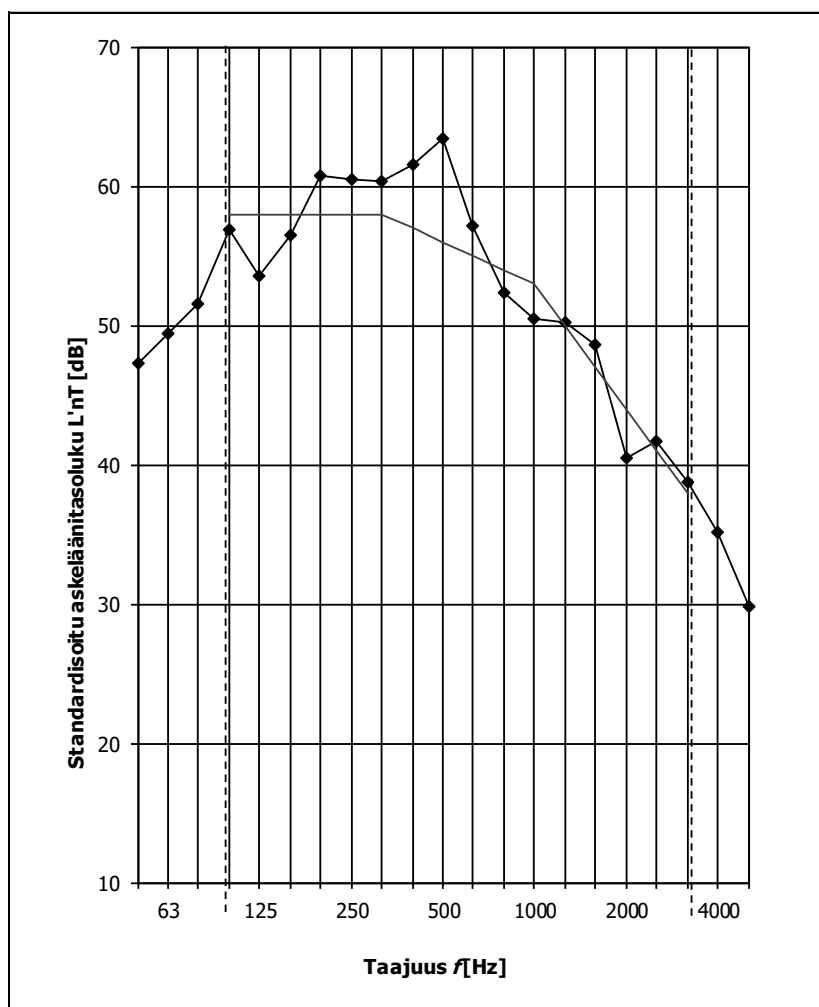
Ylälaattapalkiston askelääneneristävyyden mittaustulos 1

Välipohjarakenne : 14 mm parketti, 3 mm tuplex, 60 mm pintalaatta, 60 mm ylälaattapalkisto

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 50 \text{ m}^3$

f [Hz]	L'_{nT} [dB]
50	47,3
63	49,4
80	51,5
100	56,9
125	53,5
160	56,5
200	60,7
250	60,5
315	60,3
400	61,5
500	63,4
630	57,1
800	52,4
1000	50,5
1250	50,2
1600	48,6
2000	40,5
2500	41,7
3150	38,7
4000	35,2
5000	29,8

—●—	Mittaus
—	Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

Standardisoitu askeläänitasoluku $L'_{nT,w}(C_I; C_{I,50-2500})$ 56 (-1 ; -1) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

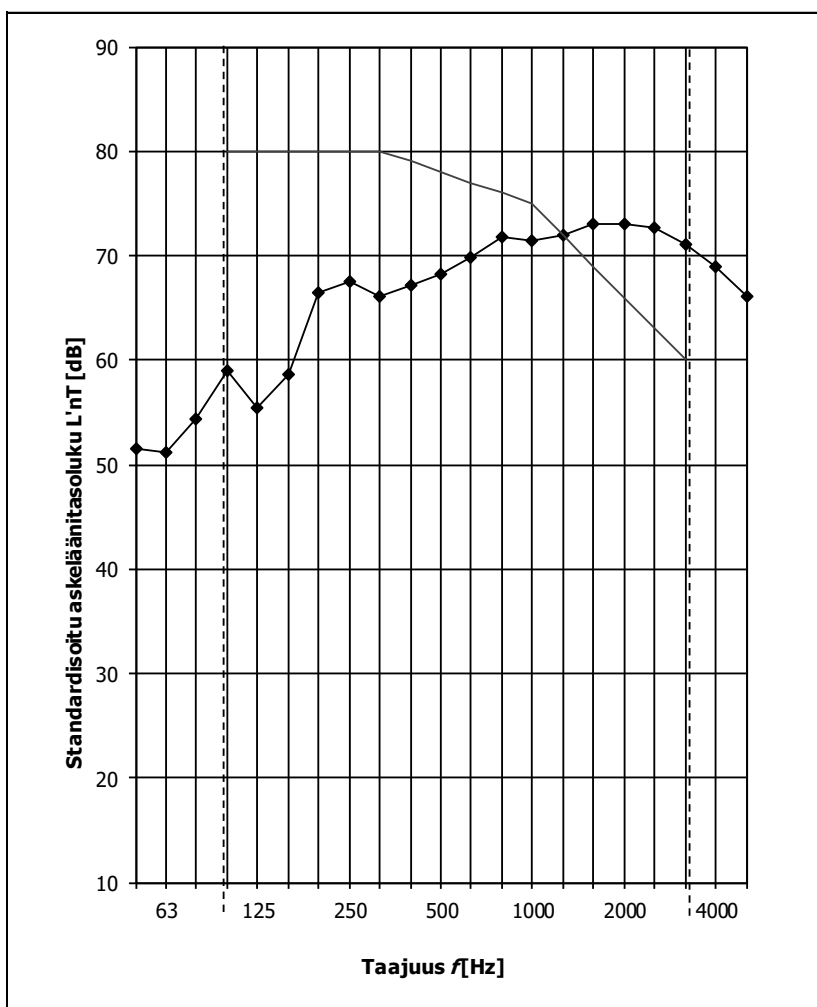
Ylälaattapalkiston askelääneneristävyyden mittaustulos 2

Välipohjarakenne : 60 mm pintalaatta, 60 mm ylälaattapalkisto

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 50 \text{ m}^3$

f [Hz]	L'_{nT} [dB]
50	51,5
63	51,1
80	54,3
100	58,9
125	55,5
160	58,7
200	66,5
250	67,5
315	66,1
400	67,1
500	68,3
630	69,8
800	71,8
1000	71,4
1250	72,0
1600	73,0
2000	73,1
2500	72,6
3150	71,1
4000	69,0
5000	66,1

—●—	Mittaus
—	Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

Standardisoitu askeläänitasoluku $L'_{nT,w} (C_I; C_{I,50-2500})$ 78 (-12 ; -12) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

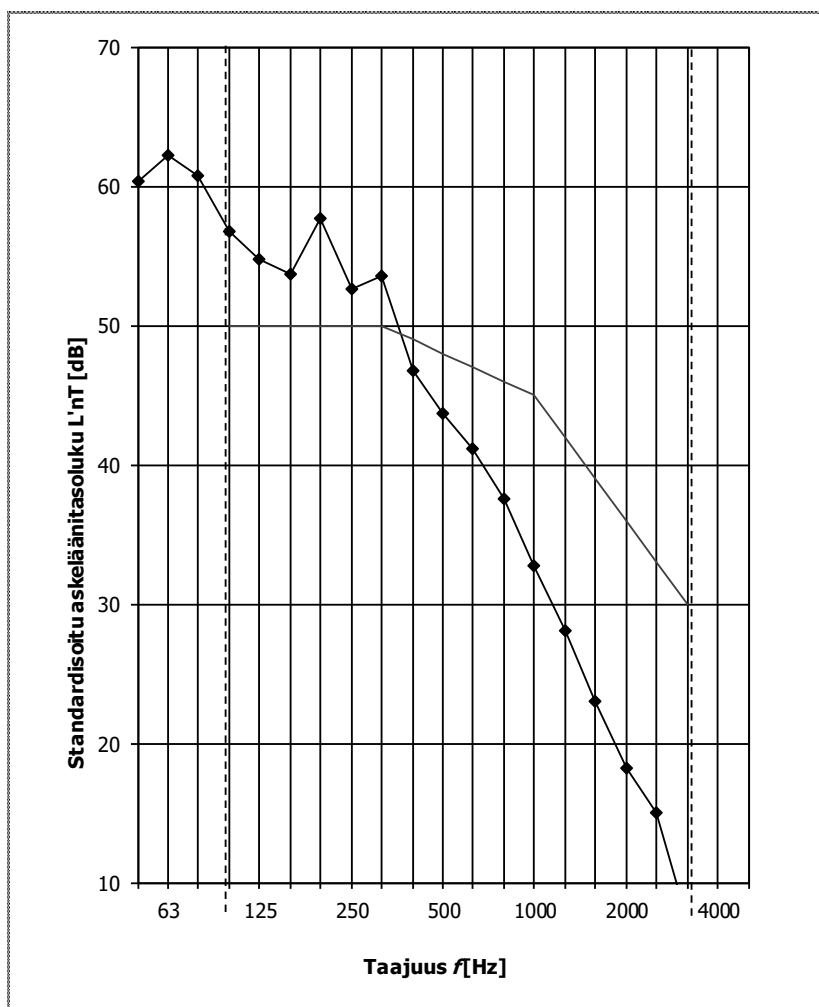
Ylälaattapalkiston askelääneneristävyyden mittaustulos 3

Välipohjarakenne : 14 mm parketti, 3 mm tuplex, 30 mm Knauf FE 80 lattiamassa, 55 mm Warmia silent -asennuslevy + vesikiertoinen lattialämmitys, 10 mm tasoitus, 60 mm pintalaatta, 60 mm ylälaattapalkisto, 50 mm Z-orsi + mineraalivilla, 25 mm akustinen jousiranka, 15 mm palonsuojalevy

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 70 \text{ m}^3$

f [Hz]	L'_{nT} [dB]
50	60,3
63	62,2
80	60,8
100	56,8
125	54,8
160	53,7
200	57,7
250	52,6
315	53,5
400	46,7
500	43,7
630	41,2
800	37,5
1000	32,7
1250	28,1
1600	23,0
2000	18,2
2500	15,0
3150	$\leq 7,2$
4000	$\leq 3,6$
5000	$\leq 2,5$

—●—	Mittaus
—	Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

Standardisoitu askeläänitasoluku $L'_{nT,w}(C_I; C_{I,50-2500})$ 48 (0 ; 5) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaaktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Alalaattapalkiston ilmaääneneristävyyden mittaustulos 1

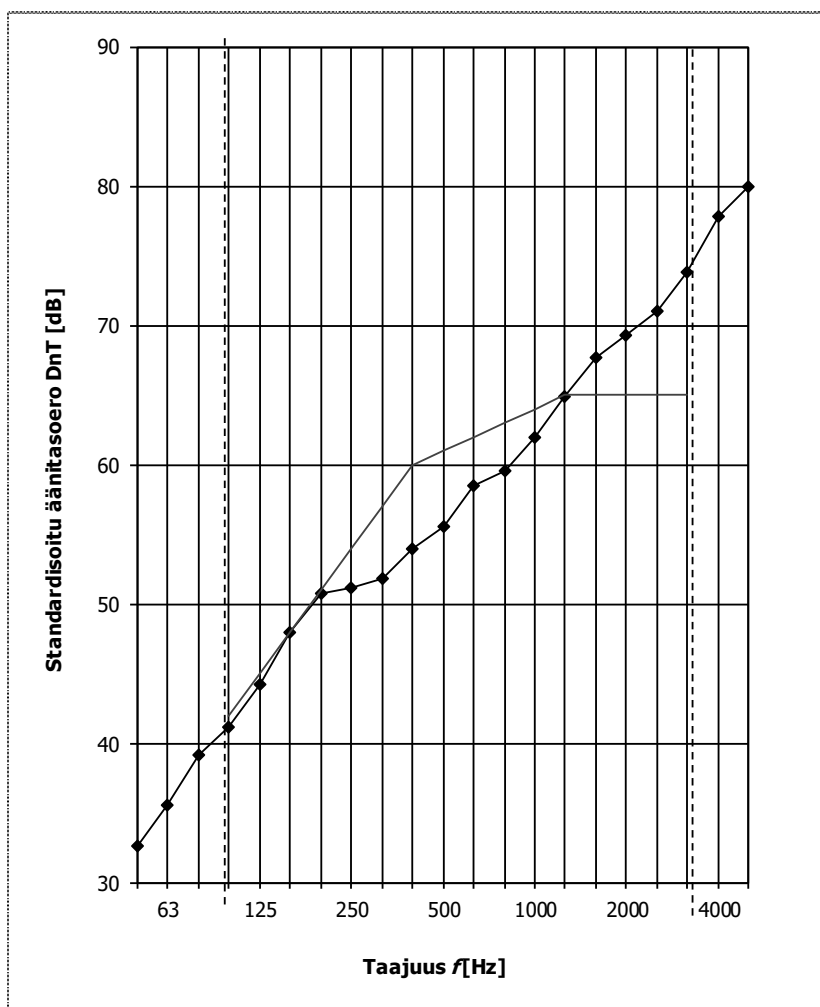
Välipohjarakenne : 16 mm parketti, 5 mm muovimatto, 40 mm ponttilauta, 50 mm puukoolaus, 360 mm alalaattapalkisto, jossa alalaatta 60 mm

Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 61 \text{ m}^3$

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 61 \text{ m}^3$

f [Hz]	D_{nT} [dB]
50	32,6
63	$\geq 35,6$
80	39,1
100	41,1
125	44,2
160	47,9
200	50,8
250	51,2
315	51,8
400	54,0
500	55,6
630	58,5
800	59,5
1000	62,0
1250	64,9
1600	67,7
2000	69,3
2500	≥ 71
3150	73,8
4000	77,8
5000	80,0

—●— Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Äänitasoeroluku $D_{nT,w} (C; C_{tr})$: **61** (-2 ; -6) **dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Alalaattapalkiston ilmaääneneristävyyden mittaustulos 2

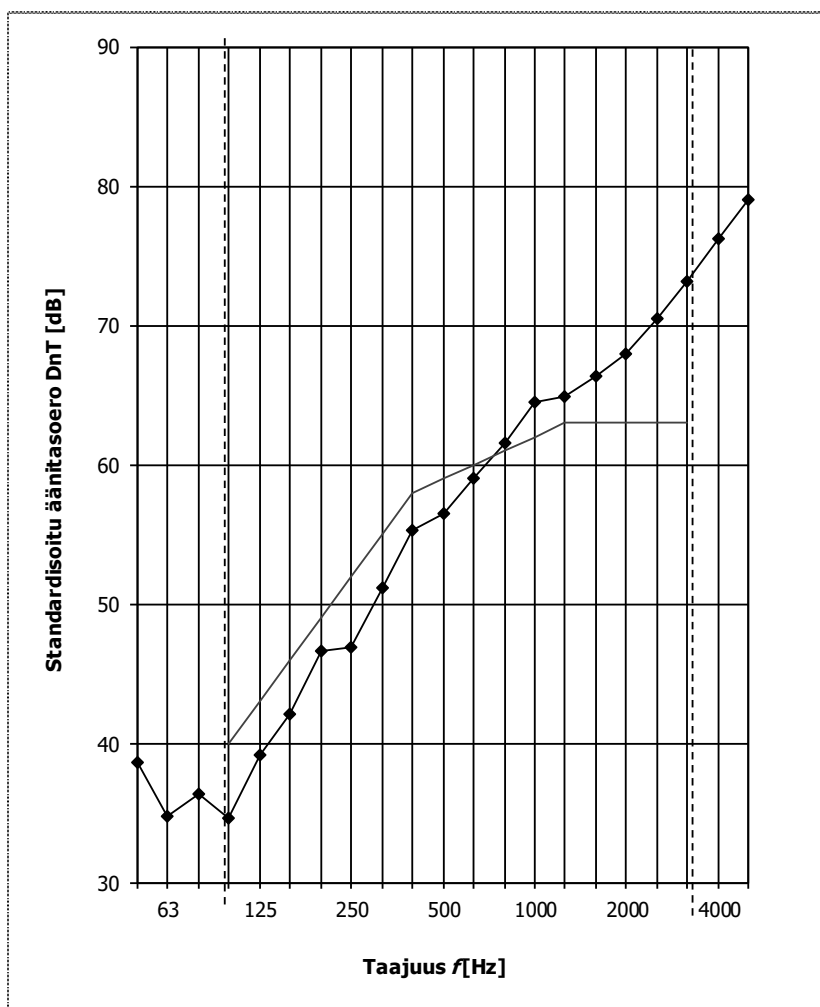
Välipohjarakenne : 16 mm parketti, 5 mm muovimatto, 40 mm ponttilauta, 50 mm puukoolaus, 360 mm alalaattapalkisto, jossa alalaatta 60 mm

Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 74 \text{ m}^3$

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 74 \text{ m}^3$

f [Hz]	D_{nT} [dB]
50	38,6
63	34,8
80	36,3
100	34,6
125	39,1
160	42,1
200	46,6
250	46,9
315	51,1
400	55,3
500	56,5
630	59,0
800	61,6
1000	64,5
1250	64,9
1600	66,4
2000	67,9
2500	70,5
3150	73,2
4000	76,2
5000	79,0

—●— Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Äänitasoeroluku $D_{nT,w} (C; C_{tr})$: **59** (-2 ; -8) **dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Alalaattapalkiston ilmaääneneristävyyden mittaustulos 3

Välipohjarakenne : 16 mm parketti, 5 mm muovimatto, 40 mm ponttilauta, 50 mm puukoolaus, 360 mm alalaattapalkisto, jossa alalaatta 60 mm

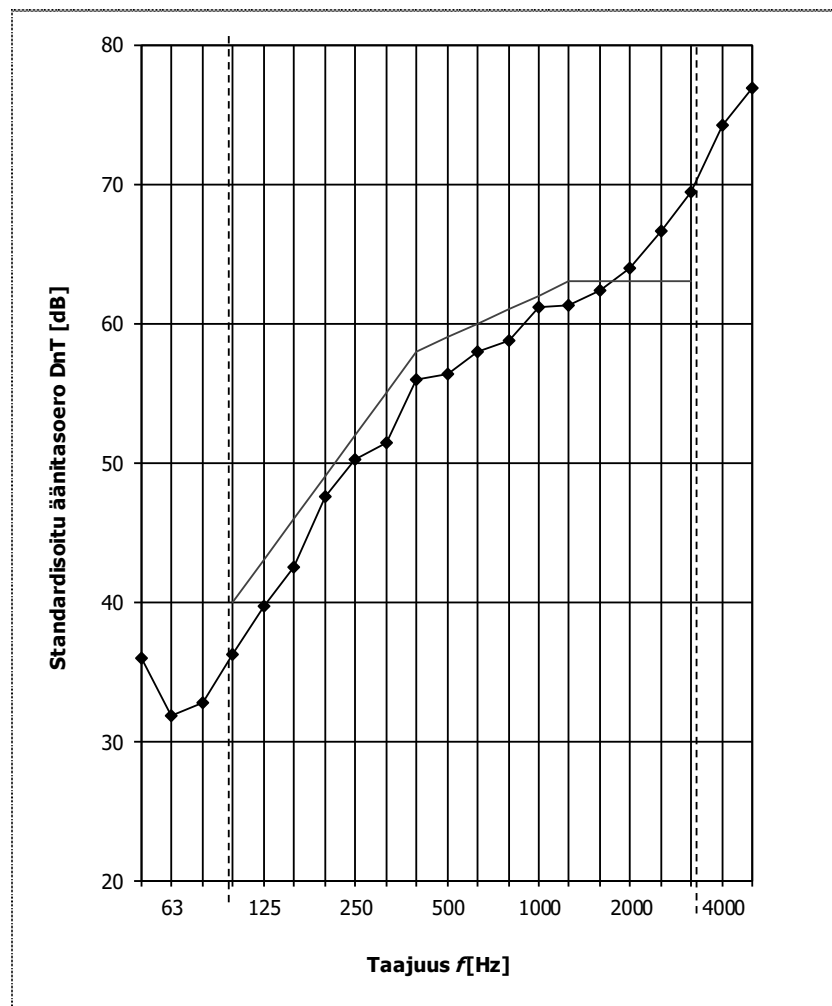
Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 60 \text{ m}^3$

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 60 \text{ m}^3$

f [Hz]	D_{nT} [dB]
50	≥ 36
63	31,8
80	32,8
100	36,2
125	39,7
160	42,5
200	47,6
250	50,2
315	51,4
400	56,0
500	56,4
630	58,0
800	58,7
1000	61,2
1250	61,3
1600	62,4
2000	64,0
2500	66,6
3150	69,4
4000	74,2
5000	76,9

—●— Mittaus

— Vertailukäyrä
(ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Äänitasoeroluku $D_{nT,w}(C; C_{tr})$: **59** (-2 ; -7) **dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

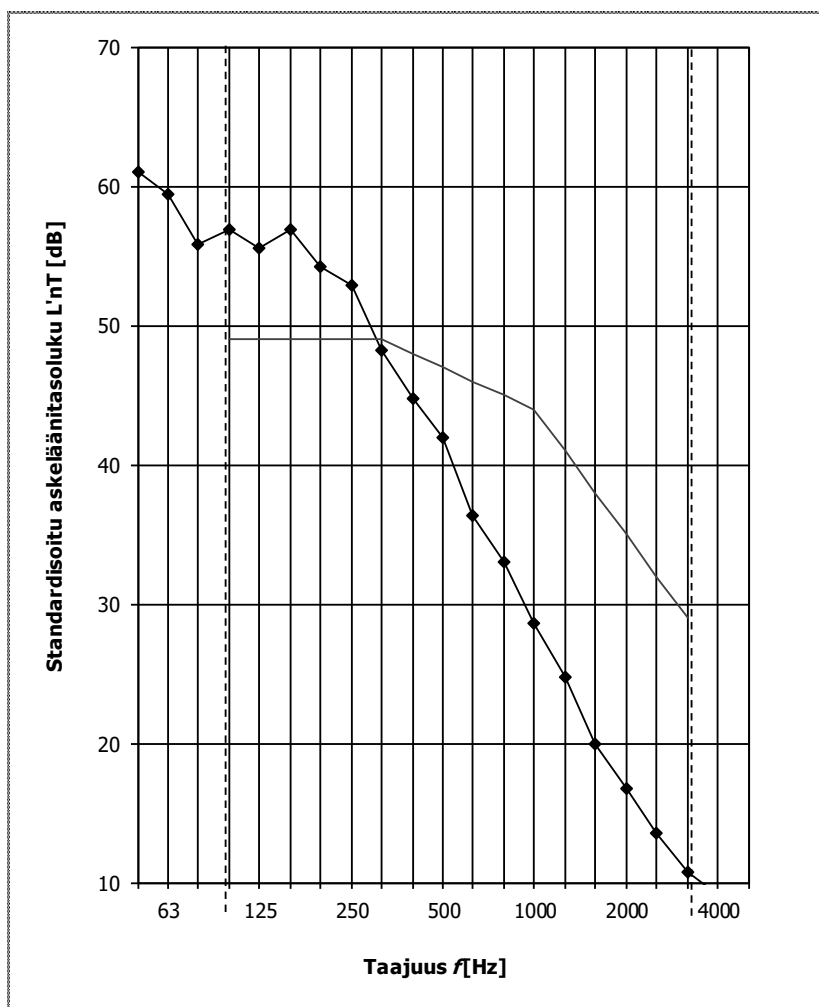
Alalaattapalkiston askelääneneristävyyden mittaustulos 1

Välipohjarakenne : 16 mm parketti, 5 mm muovimatto, 40 mm ponttilauta, 50 mm puukoolaus, 360 mm alalaattapalkisto, jossa alalaatta 60 mm

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 61 \text{ m}^3$

f [Hz]	L'_{nT} [dB]
50	61,0
63	59,4
80	55,8
100	56,9
125	55,6
160	56,9
200	54,2
250	52,9
315	48,2
400	44,8
500	41,9
630	36,3
800	33,0
1000	28,6
1250	24,7
1600	19,9
2000	≤16,7
2500	≤13,6
3150	≤10,8
4000	≤9,2
5000	≤7,8

—●— Mittaus
— Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

Standardisoitu askeläänitasoluku $L'_{nT,w}(C_I; C_{I,50-2500})$ 47 (1 ; 5) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

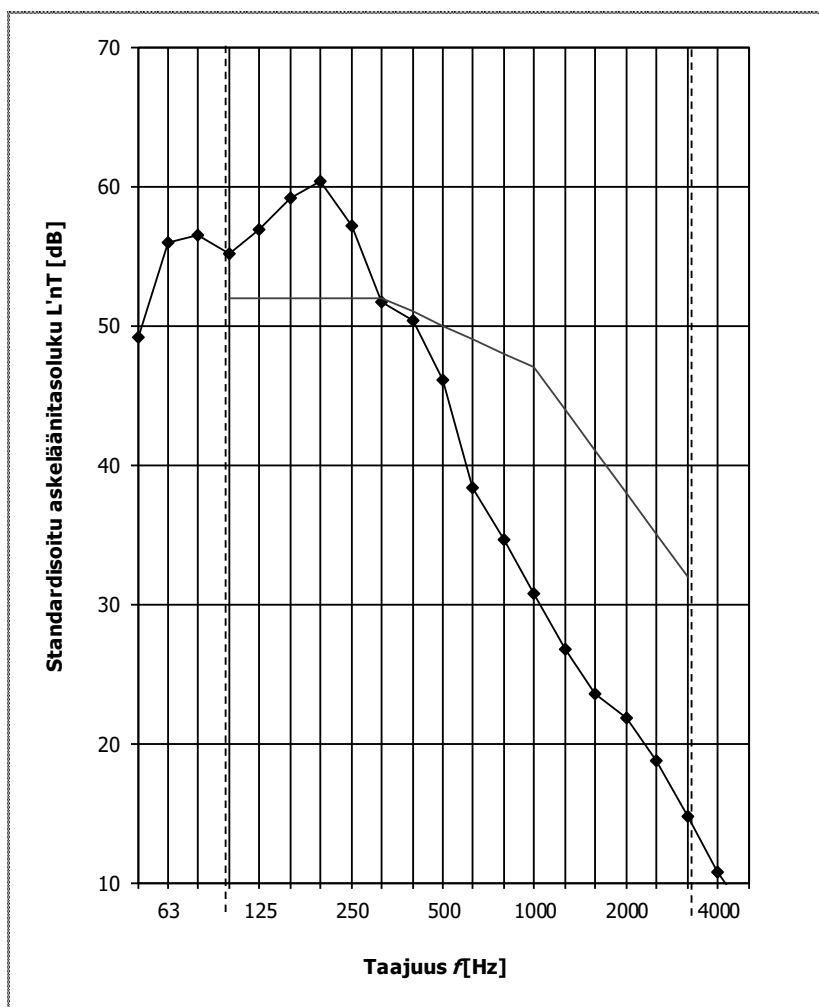
Alalaattapalkiston askelääneneristävyyden mittaustulos 2

Välipohjarakenne : 16 mm parketti, 5 mm muovimatto, 40 mm ponttilauta, 50 mm puukoolaus, 360 mm alalaattapalkisto, jossa alalaatta 60 mm

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 74 \text{ m}^3$

f [Hz]	L'_{nT} [dB]
50	49,2
63	55,9
80	56,5
100	55,2
125	56,9
160	59,2
200	60,4
250	57,1
315	51,7
400	50,3
500	46,1
630	38,4
800	34,6
1000	30,8
1250	26,8
1600	23,6
2000	21,8
2500	18,7
3150	14,8
4000	$\leq 10,8$
5000	$\leq 7,6$

—●— Mittaus
— Vertailukäyrä
ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

Standardisoitu askeläänitasoluku $L'_{nT,w}(C_I; C_{I,50-2500})$ 50 (1 ; 2) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

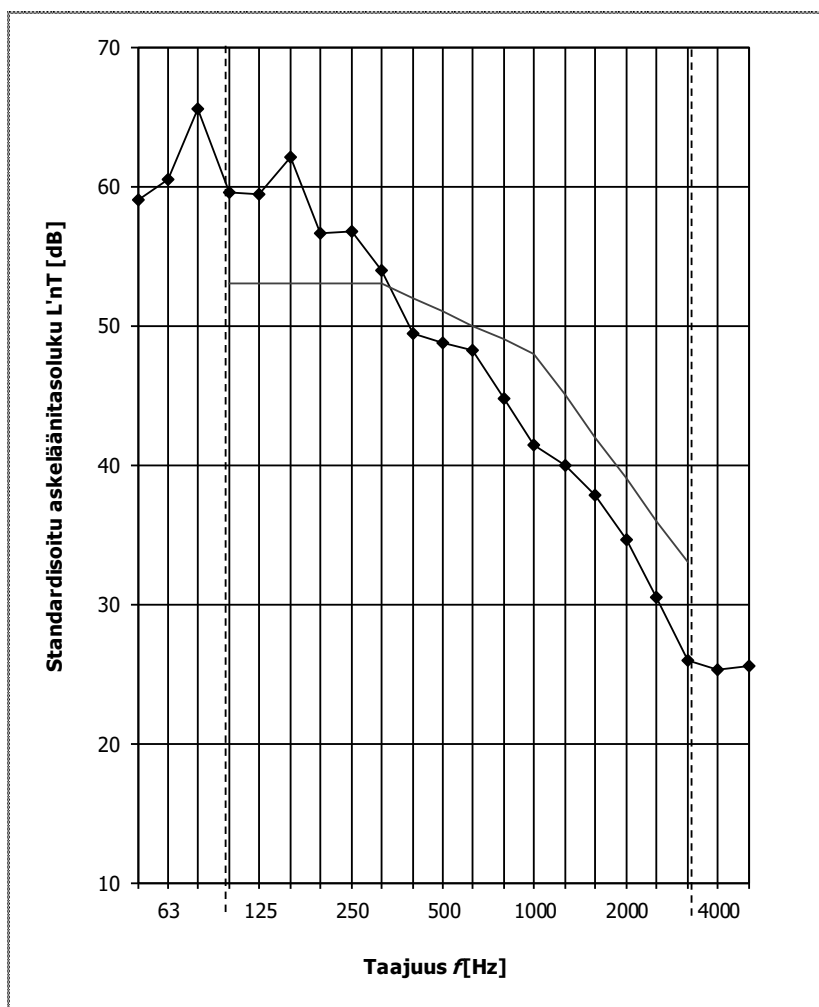
Alalaattapalkiston askelääneneristävyyden mittaustulos 3

Välipohjarakenne : 16 mm parketti, 5 mm muovimatto, 40 mm ponttilauta, 50 mm puukoolaus, 360 mm alalaattapalkisto, jossa alalaatta 60 mm

Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 60 \text{ m}^3$

f [Hz]	L'_{nT} [dB]
50	59,0
63	60,5
80	65,5
100	59,5
125	59,4
160	62,1
200	56,6
250	56,8
315	53,9
400	49,4
500	48,7
630	48,2
800	44,7
1000	41,4
1250	39,9
1600	37,8
2000	34,6
2500	30,5
3150	26,0
4000	25,3
5000	25,6

◆ Mittaus
 — Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

Standardisoitu askeläänitasoluku $L'_{nT,w} (C_I; C_{I,50-2500})$ 51 (1 ; 4) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.